



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - FATECS**  
**ENGENHARIA CIVIL**

Luiz Felipe Barbosa Silva

**UTILIZAÇÃO DO RCD EM MISTURAS PARA CONCRETO ESTRUTURAL**

Brasília

2017

LUIZ FELIPE BARBOSA SILVA

**UTILIZAÇÃO DO RCD EM MISTURAS PARA CONCRETO ESTRUTURAL**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília - UniCEUB.

Orientador: Eng<sup>o</sup>. Civil Javier A. F. Valencia, MSc.

Brasília

2017

LUIZ FELIPE BARBOSA SILVA

## UTILIZAÇÃO DO RCD EM MISTURAS PARA CONCRETO ESTRUTURAL

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília - UniCEUB.

Orientador: Eng<sup>o</sup>. Civil Javier A. F. Valencia, M.Sc.

Brasília, 2017.

### **Banca Examinadora**

---

Eng<sup>o</sup>. Civil: Javier A. F. Valencia, M.Sc.  
Orientador

---

Eng<sup>a</sup>. Civil: Maruska T. N. S. Bueno, D.Sc.  
Examinadora Interna

---

Eng<sup>o</sup>. Civil: Francisco Evangelista Júnior, D.Sc.  
Examinador Externo

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente aos meus pais, Jodeir e Susye, pelo amor e suporte incondicional, não só durante a minha vida acadêmica, mas durante toda a minha vida.

A minha namorada, Paula, por sempre acreditar em mim e me apoiar em todas as decisões que tomo.

As minhas irmãs, Daniela, Patricia e Leticia, por sempre estarem dispostas a me ajudar.

Aos meus amigos, Felipe e Daniel, por me apoiarem e aconselharem no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu professor e orientador, Javier, e a professora Maruska, por tudo que me ensinaram, ajudaram e incentivaram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho destina-se a realizar análise experimental e avaliação da qualidade do concreto, quando na dosagem deste é efetuada a substituição do agregado miúdo (areia) por resíduo de alvenaria em bloco cerâmico. Através do ensaio de resistência à compressão axial realizado em laboratório e análise do projeto estrutural de uma edificação específica utilizando programa computacional, busca-se atestar a possibilidade de uso, de forma estrutural, de concreto com RCD em sua composição. Com diversos resultados dos ensaios realizados em laboratório e análise estrutural efetuada com base nesses resultados, este trabalho apresenta os prós do uso de resíduo de alvenaria em bloco cerâmico na dosagem do concreto, como a sustentabilidade, redução do consumo de recursos naturais e possibilidade de uso estrutural em edificações, e os contra, como a considerável redução da resistência do concreto quando utilizado alto percentual de bloco cerâmico em sua composição. Existe um elevado desperdício de resíduos que podem ser utilizados como materiais para compor o concreto, e com o objetivo de demonstrar a qualidade do tipo de concreto estudado que este trabalho foi realizado.

Palavras-chave: Resíduos. Bloco cerâmico. Concreto. Sustentabilidade. Agregado miúdo. Projeto estrutural. RCD.

## **ABSTRACT**

This study intend to execute experimental analysis and evaluate the quality of the concrete when the fine aggregate (sand) is substituted with construction and demolition wastes, specifically ceramic brick, in its composition. With compression strength test performed in laboratory and analysis of the structural project of a specific edification using a software, this study looks for confirming the possibility of using this new concrete, with CDW in its composition, in the edification's structure. With lots of results from laboratory tests and structural analysis based on these results, this study presents the pros of using masonry wastes in the concrete composition like sustainability, the less use of natural resources and the possibility of using it in edification structures, and the cons, like the substantial reduction of the concrete's strength when the percentage of ceramic brick in its composition is increased. There is a high waste of waste that can be utilized as aggregate for the concrete, and demonstrate the quality of the type of concrete analyzed is the goal of this study.

Keywords: Wastes. Ceramic brick. Concrete. Sustainability. Fine aggregate. Structural project. CDW.

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1. Objetivo Geral .....	10
2.2. Objetivos Específicos .....	10
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
3.1. Concreto .....	11
3.1.1. Cimento Portland.....	11
3.1.2. Agregados .....	13
3.1.3. Propriedades do Concreto Fresco .....	15
3.1.4. Resistência do Concreto.....	17
3.1.5. Materiais Pozolânicos.....	18
3.1.6. Resíduo de Construção e Demolição .....	19
3.1.7. Aditivos.....	21
3.2. Projeto Estrutural - Concreto Armado.....	22
3.2.1. Conceitos .....	22
3.2.2. Vantagens e Desvantagens.....	23
3.2.3. Sistemas e Elementos Estruturais .....	23
3.2.4. Características do Aço.....	24
3.2.5. Dimensionamento de uma Estrutura.....	25
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
4.1. Desenvolvimento Experimental em Laboratório .....	27
4.2. Desenvolvimento do Projeto Estrutural .....	36
4.2.1. Dados de Entrada no Programa SAP2000 .....	40
<b>5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
5.1. Resultados e Análises - Ensaios do Concreto em Laboratório .....	46
5.2. Resultados e Análises - Projeto Estrutural .....	49
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....</b>	<b>58</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das áreas com maior importância na economia de uma sociedade, pelo fato dela ser capaz de girar um capital significativo, gerando empregos a todas as classes sociais e promovendo o desenvolvimento da região. Porém essa evolução da sociedade gera muitos impactos ambientais devido ao grande consumo de recursos naturais e de energia, necessários em cada obra, e à considerável geração de resíduos sólidos, ao longo de toda a vida útil da construção. Com o passar dos anos, a engenharia civil se vê na necessidade de encontrar formas de contornar o problema da escassez de recursos naturais, presente em muitas regiões ao redor do mundo, através da constante busca por tecnologias e métodos produtivos que reduzam o consumo desses recursos.

O Brasil é um país que segue essa linha na qual a indústria da construção civil possui enorme influência em sua economia. Segundo Marques Neto (2005), citado por Cabral et al. (2009), nas décadas de 1980 e 1990 o setor da construção civil chegou a alcançar 70% do investimento nacional. Para todo esse enorme investimento, o setor é o que mais consome recursos naturais, entre 20 e 50% explorados no mundo, explica John (2001), citado por Cabral et al. (2009).

As construções passam, frequentemente, por adaptações e modificações devido ao crescimento populacional desordenado, à novas concepções arquitetônicas e novos materiais, conseqüentemente acabam gerando mais resíduos. Além disso, a construção civil cresce ao mesmo tempo junto ao crescimento econômico, aumentando assim a demanda de matéria prima e energia que também podem gerar resíduos (LEITE, 2001).

Existem várias formas de geração de resíduos, uma delas é falta de qualidade da mão-de-obra e dos materiais utilizados na construção, se não forem bem gerenciados podem gerar perdas que serão descartadas em forma de entulho, aumentando o volume de resíduos. Outro exemplo de perda se dá na forma de manifestações patológicas na edificação devido à falha de execução, onde serão necessárias manutenções que necessitarão de mais recursos naturais e, portanto,



mais resíduos serão gerados. Segundo Carneiro et al. (2001), apenas na União Européia são gerados entre 221 e 334 milhões de toneladas de resíduos por ano.

Como solução para o elevado volume de resíduos de construção e demolição (RCD), notou-se que a reutilização e a reciclagem dos materiais de construção está se tornando imprescindível, referindo-se à sustentabilidade, aos impactos ambientais e à preservação dos recursos naturais. Além do reaproveitamento, acaba-se evitando que esses resíduos sejam despejados em locais inadequados.

Uma das formas de uso do RCD é na produção do concreto, sendo este o intuito deste trabalho, o qual visa analisar a possibilidade de construção de uma edificação utilizando concreto dosado com resíduo de alvenaria de bloco cerâmico triturado atuando como o agregado miúdo da mistura, com avaliação estrutural, buscando aumento da sustentabilidade sem perda de qualidade.

Existem alguns estudos semelhantes à proposta deste trabalho. Silva e Vieira (2015) realizaram uma pesquisa sobre o processamento de resíduos de cerâmica vermelha para produzir agregado miúdo capaz de ser utilizado no concreto. Os mesmos Silva e Vieira (2016) pesquisaram sobre a resistência desses concretos quando submetidos ao ataque por sulfato de magnésio. Oliveira et al. (2016) fizeram um estudo de caso em São João de Ribamar/MA sobre a necessidade da reutilização do RCD na região. Amorim et al. (2016) realizaram um estudo sobre a utilização de resíduos para fabricação de concreto reciclado com o objetivo da preservação ambiental. Andrade et al. (2016) avaliaram o emprego de resíduos da construção civil como agregado miúdo e graúdo na produção de concretos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Analisar e avaliar os resultados obtidos experimentalmente da substituição, na dosagem do concreto, do agregado miúdo por resíduo de alvenaria de bloco cerâmico e verificar a possibilidade da utilização deste no projeto estrutural de uma edificação.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar diferentes percentuais de utilização do RCD na dosagem do concreto;
- Verificar e analisar a possibilidade de utilização de superplastificante para a dosagem do concreto;
- Comparar as vantagens e desvantagens da dosagem do concreto com e sem o uso de plastificante.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Concreto**

De acordo com Neville e Brooks (2013, p. 2) “o concreto, no sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante”. Geralmente a composição do concreto se dá pelo resultado da mistura de cimento, areia, brita e água, sendo que o produto da reação entre o cimento hidráulico e água forma uma pasta capaz de aderir os agregados (areia e brita) dando origem ao concreto fresco. Porém essa composição pode ser alterada, abrangendo uma enorme gama de materiais que podem substituir os usuais na formação do concreto, além da utilização de aditivos capazes de modificar suas características físicas e químicas.

Ambrozewicz (2012) explica que existe a necessidade de estudos específicos para alcançar um concreto de boa qualidade (resistente, durável, econômico e de bom aspecto), como as propriedades dos materiais componentes, propriedades do concreto em si, a sua dosagem e execução.

Nos itens seguintes serão discutidos conceitos e propriedades relacionados ao concreto, e seus agregados, bem como sua qualidade e a possibilidade de utilização de RCD em sua composição.

##### **3.1.1. Cimento Portland**

Considerado um aglomerante hidráulico muito utilizado na composição do concreto, o Cimento Portland é um material capaz de endurecer pela ação da água, sendo essa propriedade junto a característica de não sofrer alterações químicas quando em contato com a água ao longo do tempo, os principais motivos pelo uso do concreto como material de construção civil. De acordo com Ambrozewicz (2012) o aglomerante tem como principal função a formação de uma pasta capaz de unir os grãos dos agregados por ser um material ativo e ligante. Neville e Brooks (2013)

explicam que o Cimento Portland é obtido pela mistura entre calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro.

O cimento Portland apresenta algumas propriedades físicas específicas, uma delas é a finura que está relacionada com o tamanho dos grãos do produto. Ela é definida pelo tamanho máximo do grão e, por outro lado, pelo valor da superfície específica, este garantindo qualidades de pasta, das argamassas e dos concretos. Há uma relação de influência entre a finura do cimento e a água, o aumento daquela promove uma reação mais rápida, melhorando a resistência, especialmente nos primeiros dias, diminuindo a exsudação (fenômeno de segregação que ocorre na pasta de cimento) e aumentando a impermeabilidade, a trabalhabilidade (facilidade na operação de manuseio com concreto fresco) e a coesão dos concretos. (BAUER, 2016).

Outra propriedade física do cimento Portland é o tempo de pega, definido como o enrijecimento da pasta de cimento, o momento em que esta adquire uma consistência com trabalhabilidade inexistente. As argamassas e concretos possuem um certo período de tempo, constituindo um prazo (tempo de início e tempo de fim de pega), para o seu manuseio. Após encerrado o prazo, quando a pega atinge um certo estágio, o material deve ser deixado em repouso para que este desenvolva o endurecimento, pois não é mais possível a operação de remistura. (BAUER, 2016).

Mais uma propriedade física do cimento Portland se denomina expansibilidade. As expansões do cimento são causadas devido às reações de cal livre, magnésia e sulfato de cálcio, sendo esses cimentos classificados como expansivos. A pasta de cimento não deve sofrer aumento de volume após a pega, pois corre o risco de causar desagregação dela quando endurecida. (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Por fim o cimento Portland possui como propriedade física sua resistência que é calculada a partir de ensaios de tração direta, compressão e flexão. Devido à dificuldade de obtenção de corpos de prova consistentes que podem causar variabilidade nos resultados, os ensaios não são realizados na pasta de cimento pura, mas sim formando uma argamassa de cimento e areia, enfim sendo capaz de determinar a resistência do cimento. (NEVILLE E BROOKS, 2013)

De acordo com Neville e Brooks (2013) os cimentos apresentam diferentes propriedades devido às diferentes composições químicas, quando hidratados. Vários

são os tipos de cimentos disponíveis comercialmente. Bauer (2016) cita os tipos de cimento apresentados a seguir. O cimento tipo 1 é utilizado de forma geral em construções, é o cimento Portland comum. O tipo 2, conhecido como modificado, é recomendado para construções de moderado porte. Já o cimento tipo 3 é aquele de alta resistência e possui maior finura. O cimento tipo 4 é aplicado em construções de grande porte, porém pouco utilizado atualmente. Por fim o cimento tipo 5 é aquele resistente a sulfatos.

### **3.1.2. Agregados**

Os agregados eram considerados no início como materiais inertes e de baixo custo, tendo como única função serem adicionados à pasta de cimento para dar volume ao concreto. Porém notou-se que eles não são realmente inertes pelo fato de apresentarem certas propriedades capazes de influenciar no desempenho do concreto. Os agregados ocupam cerca de  $\frac{3}{4}$  do volume de concreto, por conta disso deve-se atribuir grande importância para sua qualidade, sendo que eles são capazes de limitar a resistência do concreto, além de alterar a durabilidade e o desempenho estrutural deste. É comum atribuir certa vantagem econômica aos agregados quando utilizados em maior teor na produção do concreto, reduzindo a quantidade de cimento na mistura, devido ao seu custo/benefício, no entanto deve-se ter um certo controle para garantir que as propriedades desejadas do concreto não alterem o seu desempenho. (NEVILLE E BROOKS, 2013).

De acordo com Bauer (2016) os agregados são classificados de três diferentes formas: segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente. Podem ser classificados como naturais e industrializados, segundo a origem, sendo o primeiro já encontrado na natureza em forma particulada como areia e cascalho, já o segundo são os agregados com composição particulada obtida por processos industriais, tendo como possível matéria-prima: rocha e argila. Segundo as dimensões das partículas, os agregados são classificados como miúdos, as areias, e grãos, os cascalhos e britas. Já segundo o peso específico aparente, os agregados são definidos como leves, médios e pesados de acordo com a densidade do material.

Todos os materiais componentes do concreto possuem propriedades específicas capazes de definir suas qualidades e qual é a melhor opção de escolha para determinada situação. Algumas das propriedades mecânicas dos agregados são a aderência, a resistência, a tenacidade e a dureza, enquanto das propriedades físicas destacam-se a massa específica, a porosidade e absorção e o teor de umidade, suas determinações serão apresentadas a seguir.

Em relação à aderência, Neville e Brooks (2013, p. 47) explicam que “tanto a forma quanto a textura superficial influenciam consideravelmente na resistência do concreto” e completa mostrando que afeta mais a resistência à flexão do que à compressão. Neville e Brooks (2013) também destacam alguns exemplos de particularidades dos agregados que resultam em uma melhor aderência entre eles e a pasta de cimento, como agregados com textura mais áspera, a maior área superficial de agregados angulosos, agregados mais macios e porosos. Além da aderência, outra propriedade mecânica dos agregados é a resistência, sendo que Bauer (2016) destaca a resistência à compressão, à tração e à abrasão. A tenacidade e a dureza são outras propriedades mecânicas importantes dos agregados, de acordo com Neville e Brooks (2013) aquela é definida como a resistência à ruptura por impacto e essa é definida como a resistência ao desgaste.

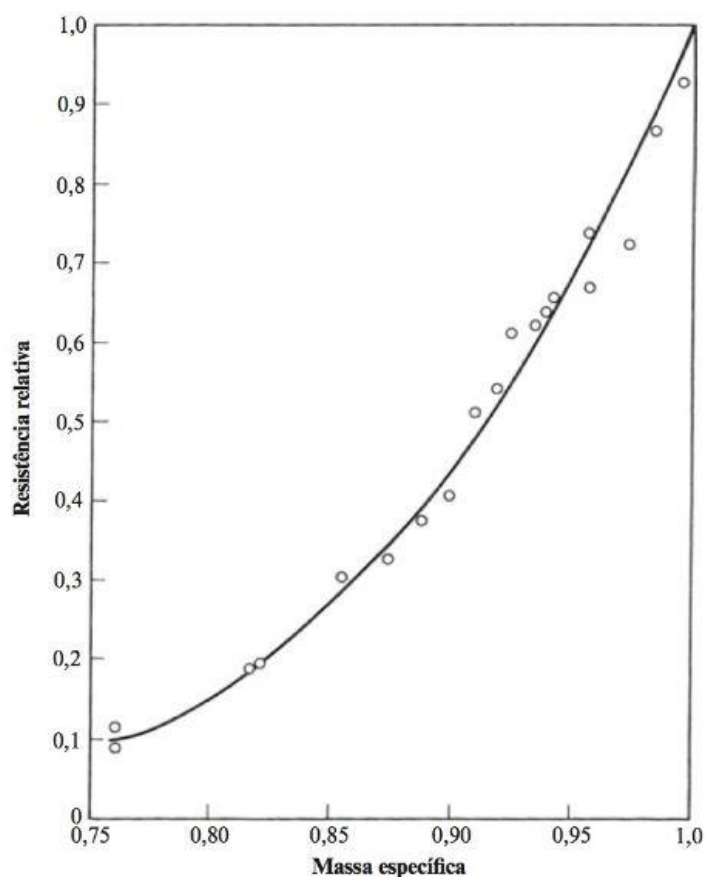
Uma das propriedades físicas de grande relevância dos agregados é a sua massa específica, a qual é definida por Bauer (2016) como “massa da unidade de volume do material de que se constituem os grãos do agregado”. Neville e Brooks (2013) explicam a importância do conhecimento da porosidade, permeabilidade e absorção dos agregados devido à influência destes na aderência entre os agregados e a pasta de cimento, em sua estabilidade química e na massa específica. Os poros dos agregados apresentam dimensões diferentes, sendo que todas podem ser consideradas maiores que os poros da pasta de cimento e devido ao grande volume de agregados na mistura do concreto, a porosidade daqueles contribui consideravelmente para a porosidade total do concreto. E por fim, o teor de umidade representa mais uma propriedade física dos agregados e de acordo com Neville e Brooks (2013) é definido como a água excedente à condição saturada superfície seca dos agregados, sendo que essa propriedade é imprescindível para o cálculo da quantidade de material para a produção do concreto além da quantidade total de água utilizada na mistura.

### **3.1.3. Propriedades do Concreto Fresco**

De acordo com Neville e Brooks (2013) as propriedades do concreto endurecido, como resistência, estabilidade de volume e durabilidade, pelo fato de serem bastante afetadas pelo grau de adensamento, possuem uma certa dependência com a consistência e a trabalhabilidade do concreto fresco. Devido a isso, Bauer (2016) explica que as propriedades desejáveis do concreto fresco são aquelas que promovem misturas que facilitam o transporte, lançamento e adensamento, sem segregação, para que o concreto endurecido obtido seja o mais homogêneo possível, com o mínimo de vazios.

A mistura entre a pasta de cimento e os agregados miúdos e graúdos, que gera o concreto fresco, é considerada como trabalhável quando ela possui características associadas ao tipo de obra que será utilizada e aos métodos de lançamento, adensamento e acabamento, de acordo com Bauer (2016). Além da trabalhabilidade, outro termo que define a qualidade do concreto fresco é a consistência, sendo essa relacionada à facilidade com que ele flui. É comum tomar a consistência como uma medida do grau de umidade, pelo fato de concretos mais seco possuírem menor trabalhabilidade do que concretos que apresentam maior quantidade de água, explicam Neville e Brooks (2013). Para que a resistência do concreto atinja o seu máximo, é necessário alcançar a maior massa específica possível quando esta for adensada atingindo o mínimo de vazios na massa compactada, de acordo com Neville e Brooks (2013). A Figura 1 mostra a correlação entre a resistência à compressão e a massa específica do concreto.

Figura 1 - Relação entre a resistência relativa e a massa específica relativa



Fonte: NEVILLE E BROOKS, 2013

De acordo com os conhecimentos adquiridos por Neville e Brooks (2013), e com o auxílio de Bauer (2016), a consistência é a principal influência na trabalhabilidade do concreto fresco e a partir dela pode-se dizer que determinados fatores são essenciais para avaliar essa trabalhabilidade, são eles: a quantidade de água, a granulometria e formas dos grãos dos agregados, a relação agregados/cimento, os aditivos e por fim o tempo e a temperatura. Destes apresentados considera-se o teor de água na mistura como o mais importante fator, pelo simples fato de que adicionando mais água à mistura, a lubrificação entre os agregados e o cimento é aumentada. Junto ao teor água/mistura seca, deve ser considerada a granulometria das partículas para que uma boa trabalhabilidade seja alcançada e para que o grau de plasticidade do concreto seja determinado. Já a relação agregados/cimento anda na contramão da relação água/cimento, a trabalhabilidade aumenta quando a primeira diminui e a segunda é elevada. Os aditivos são utilizados quando os concretos são pobres e ásperos, assim permitindo-os serem mais trabalháveis. Outros fatores com menor influência são o tempo e a



temperatura, a primeira devido ao possível enrijecimento prematuro da mistura e a segunda pelo fato da temperatura ambiente poder modificar a temperatura do concreto, sendo isso determinante para a variação da quantidade de água utilizada.

#### **3.1.4. Resistência do Concreto**

Segundo Neville e Brooks (2013) a resistência do concreto é considerada uma das mais importantes propriedades, se não a mais importante de todas, além da durabilidade, impermeabilidade e estabilidade do volume, sendo essas propriedades capazes de determinar a qualidade do concreto. Para compreender mais sobre a resistência do concreto é necessário avaliar os fatores que influenciam nesta, são eles: a porosidade, a relação água/cimento (fator primordial), grau de adensamento e idade, e a relação agregado/cimento.

A resistência do concreto está relacionada com a porosidade da pasta de cimento endurecida, sendo esta determinada pela relação água/cimento da mistura. Quando a pasta de cimento é hidratada, pode-se considerar que a água assume três formas: água combinada, água de gel e água capilar. A primeira é considerada fortemente retida devido a sua combinação química ou fisicamente com os produtos da hidratação. A segunda está localizada entre os produtos sólidos da hidratação. E a última está localizada no espaço residual, o qual forma os vazios ou poros capilares, estes contendo ou não água. É possível deduzir que a porosidade depende do fator água/cimento e do grau de hidratação. (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Apesar da porosidade ser de extrema importância para a qualidade do concreto e sua resistência, ela é difícil de ser calculada, por isso outros fatores acabam sendo mais determinantes. Os principais são a relação água/cimento, o grau de adensamento, a idade e a temperatura. De acordo com Neville e Brooks (2013) a resistência do concreto em uma idade e temperatura normais é considerada inversamente proporcional à relação água/cimento, assumindo que o concreto possui o adensamento total. O grau de hidratação aumenta de acordo com a idade do concreto, com isso a resistência também cresce. Uma propriedade de menor impacto na resistência do concreto é a relação agregado/cimento, onde, admitindo uma relação água/cimento constante, uma mistura pobre (mistura com elevadas relações

agregado/cimento) resulta numa maior resistência, isso ocorre devido ao volume total de vazios do concreto. Pasta de cimento representando uma proporção menor no volume de concreto, portanto possui uma menor porosidade e uma maior resistência.

### **3.1.5. Materiais Pozolânicos**

As adições minerais são classificadas como predominantemente inertes (API) e predominantemente reativas (APR) de acordo com Cavalcanti (2006), baseando-se na possibilidade de haver, ou não, função aglomerante potencial. As APR podem ser materiais pozolânicos, como por exemplo as cinzas volantes, cinzas de casca de arroz, cinzas da queima do bagaço da cana de açúcar, sílica ativa e metacaulim.

Materiais pozolânicos são substâncias naturais ou pozolanas industriais, silicosos ou silicoaluminosos, ou uma combinação destes. Quando misturados com água eles não endurecem por si próprios, mas obtêm essa propriedade ao reagir com hidróxido de cálcio dissolvido, em temperatura ambiente, para formar compostos de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio, que desempenham maior resistência mecânica. São compostos similares àqueles que são formados quando os cimentos hidráulicos endurecem (JACKSON, 2004). Existe a possibilidade de substituição parcial do cimento Portland através de adições pozolânicas numa mistura cimentícia.

As API têm a ação física de promover maior qualidade na compactação e refinamento de poros do concreto, preenchendo vazios e aumentando a densidade. Alguns exemplos são os pós finos de calcário, quartzo e resíduos de serragem de mármore e granito. Essas adições substituem o agregado miúdo quando são incorporadas ao concreto e, pelo fato de serem mais finas, dão coesão à mistura (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

A norma NBR 12653 (ABNT 1992a) classifica as adições pozolânicas em naturais ou artificiais. As pozolanas naturais podem ser de origem sedimentar, ou de origem vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido. Enquanto as pozolanas artificiais são materiais originados de tratamento térmico ou como subprodutos industriais, como as argilas calcinadas, cinzas volantes, cinzas de resíduos vegetais, etc. As adições pozolânicas são classificadas, através dessa norma, nas classes N, C e E. A classe N é referente as adições que são oriundas de materiais vulcânicos de

caráter petrográfico ácido, cherts silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas. As adições da classe C são as cinzas volantes, oriundas da queima do carvão mineral em usinas termoeletricas; e as da classe E são quaisquer pozolanas que não sejam compatíveis com as classes anteriores.

Sales (2014) ressalta a importância de considerar o benefício ambiental da aplicação dos pós inertes provenientes de resíduos ou subprodutos em concretos e argamassas. Alguns tipos de resíduos podem ser utilizados como parte do aglomerante pelo fato de possuírem determinada composição química, ou estado vítreo, que lhes conferem reatividade em meio aquoso, resultando em endurecimento.

### **3.1.6. Resíduo de Construção e Demolição**

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº 307 de 2002, define os resíduos da construção civil como os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultados da preparação e da escavação de terrenos. Após essa Resolução, a Associação Brasileira de Normas Técnicas elaborou a NBR 15114 (2004), a qual respeitou o disposto na CONAMA nº 307, adotando a mesma definição.

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil de 2012, apresentado pela Associação Brasileira de Empresas de limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), citado por Rangel (2015), informa que apenas 57,98% das 62.730.096 toneladas de resíduos sólidos gerados por ano no Brasil são geridos adequadamente, sem causar impactos ambientais. Pinto (1999) através de seu estudo chegou à conclusão que os resíduos de construção de algumas cidades no Brasil variam entre 41% e 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos. Por motivo da larga escala de resíduos de construção e pelos danos causados por estes ao meio ambiente, a reciclagem e reutilização se apresenta como uma solução sustentável de forma a reduzir impactos ambientais, econômicos e sociais, causados pela má gestão desses resíduos.

### **3.1.6.1. Adição de resíduos da indústria cerâmica a misturas cimentícias**

Sales (2014) mostra que alguns estudos anteriores trataram de resíduos da indústria cerâmica e obtiveram resultados que mostram que o resíduo de cerâmica vermelha moída apresenta propriedades pozolânicas quando adicionado ao concreto.

Desir et al. (2005), em sua pesquisa, fizeram adição de resíduo de tijolo moído ao concreto, em teores de 15% e 50%, além de adicionarem resíduos de corte de rocha, os quais não possuem atividade pozolânica. Os ensaios com o resíduo de tijolo moído geraram resultados que apontaram propriedades pozolânicas, que foram confirmados na curva de evolução de resistência no tempo, apontando um aumento de resistência de no mínimo 15% em relação ao concreto com adição de material fino, mas sem propriedade pozolânica.

Resultados dos estudos de Carneiro, Moura e Leite (2009) se apresentaram semelhantes ao adicionar resíduos moídos de material cerâmico como substituição parcial ao cimento na produção de argamassas. Eles utilizaram teores de 10% e 20% de substituição, a argamassa com menor porcentagem de substituição apresentou um ganho de resistência da ordem de 19%, enquanto a argamassa com maior porcentagem de substituição reduziu em 5% a resistência mecânica. Concluiu-se pela característica possivelmente reativa da amostra de material cerâmico, após análise do difratograma de raios X.

Pereira-de-Oliveira, Castro-Gomes e Santos (2012) também realizaram estudos sobre possibilidade de adição de resíduos de cerâmica vermelha, tijolos e telhas, substituindo parcialmente o cimento, em concretos e argamassas. O pó fino obtido foi caracterizado em sua finura Blaine, densidade, e morfologia das partículas, por microscopia eletrônica de varredura. Foi determinado o índice de atividade pozolânica através de ensaios em argamassa com diferentes teores de substituição do aglomerante, entre 0% e 40%. Verificou-se uma redução da resistência à compressão após análise dos resultados dos ensaios dessa propriedade devido ao aumento do teor de substituição do cimento por pó cerâmico, tanto para o obtido por moagem de telhas como para o obtido a partir de tijolos. Os autores julgaram a

atividade pozolânica do resíduo era confirmada pelos resultados registrados, viabilizando sua incorporação em argamassas e concretos.

Heikal, Zohdy e Abdelkreem (2013) fizeram uso de pó de tijolo cerâmico na produção de concreto autoadensável, com o intuito de analisar o comportamento reológico, físico-mecânico e a microestrutura da pasta de cimento e dos concretos, com teor de materiais cimentícios de 400 kg por metro cúbico de concreto fresco. A substituição do cimento pelo pó de tijolo foi realizada nos teores de 0, 50, 100 e 150 kg/m<sup>3</sup>. Resultados apontaram que a resistência à compressão do concreto diminuiu com o aumento do teor de pó de tijolo ao não utilizar aditivo para o concreto autoadensável, porém houve aumento de resistência quando os concretos continham aditivo. O aumento do teor de pó de tijolo até 250 kg/m<sup>3</sup> causou aumento da resistência à compressão do concreto. Foi concluído que seria recomendada a aplicação do pó de tijolo cerâmico em concreto autoadensável com teores entre 30% e 40% de substituição do cimento.

### **3.1.7. Aditivos**

Os aditivos têm como finalidade a alteração das propriedades do cimento quando incorporado à mistura do concreto, sem que haja a necessidade do uso de um cimento especial. Muitas vezes a incorporação de aditivo é a única forma de se obter as propriedades específicas desejadas. Existem diversos produtos registrados que trabalham como aditivo de formas diferentes, algumas dessas formas são os aceleradores, retardadores de pega, redutores de água (plastificantes) e superplastificantes, entre outros. (NEVILLE E BROOKS, 2013)

Os superplastificantes são aditivos conhecidos como redutores de água. Eles apresentam teores de dosagem maiores que os redutores de água convencionais (plastificantes), com isso são capazes de reduzir, consideravelmente, os efeitos colaterais indesejados. Sua utilização é efetuada na produção de concretos de alta resistência, de trabalhabilidade normal, porém com o fator água/cimento muito baixo. O uso do superplastificante gera a dispersão do cimento pela ação do ácido sulfônico adsorvido na superfície das partículas de cimento, consequentemente as tornando carregadas negativamente, provocando a repelência entre elas. Essa característica

que torna os superplastificantes capazes de aumentar a trabalhabilidade da mistura para uma determinada relação água/cimento, podendo resultar numa redução de 25 a 35% de água. Portanto a obtenção de concreto com resistência elevada usando baixas relações água/cimento torna-se possível. Apesar do superplastificante possuir todas essas vantagens, eles possuem um custo elevado e a melhora da trabalhabilidade na mistura é de curta duração, sendo que ela volta ao normal entre 30 e 90 minutos depois da incorporação do aditivo. (NEVILLE E BROOKS, 2013)

## **3.2. Projeto Estrutural - Concreto Armado**

### **3.2.1. Conceitos**

Como já citado no item 3.1 e seus itens subsequentes, o concreto é um material que vem da mistura entre cimento, água e agregados (miúdo e graúdo). Devido ao alto custo do cimento e a grande quantidade de concreto necessária para a construção estrutural de uma edificação, verificou-se a necessidade da utilização de agregados de maiores dimensões na composição do concreto, para aumentar o seu volume, sem que esse tenha sua qualidade muito prejudicada.

De acordo com Carvalho (2009) não se deve efetuar a construção da estrutura de determinada edificação utilizando apenas o concreto. Apesar deste possuir uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração. Por esse motivo foi verificada a necessidade da associação do concreto com um material que possua uma boa resistência à tração e que seja mais deformável, para evitar fissuras, sendo mais comum a utilização do aço. Essa associação só é possível devido a aderência entre o concreto e o aço, pois a deformação do concreto faz com que as barras tracionadas sejam alongadas, caracterizando-as como armaduras passivas. Portanto as duas propriedades que caracterizam o concreto armado são: aderência e a possibilidade de ocorrência de fissuras no concreto. Outro fator importante de se destacar é que o coeficiente de dilatação térmica do concreto e do aço têm valores próximos ( $\alpha_{\text{conc}} = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e  $\alpha_{\text{aço}} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), além disso o concreto protege o aço, em condições normais, contra a oxidação e altas temperaturas.

### **3.2.2. Vantagens e Desvantagens**

Carvalho (2009) cita vantagens e desvantagens do concreto armado, abaixo serão mencionados alguns.

Vantagens:

- Boa resistência à maioria das solicitações;
- Possui boa trabalhabilidade, o que dá maior liberdade ao projetista;
- As técnicas de execução são dominadas no país;
- É um material durável, caso seja bem executado, conforme as normas da ABNT;
- Em muitos casos pode ser mais econômico que as estruturas de aço e mais durável e resistente ao fogo que estas e que a madeira;
- Possibilidade de utilização de pré-moldados, o que traz maior rapidez na execução.

Desvantagens:

- Resulta em elementos com maiores dimensões que o aço, podendo acarretar um peso próprio muito grande, elevando o custo da obra;
- Em muitos casos as reformas são de difícil execução;
- É bom condutor de calor e som, o que resulta na necessidade de associação com outros materiais para evitar problemas;
- A grande necessidade de uso de fôrmas e escoramentos.

### **3.2.3. Sistemas e Elementos Estruturais**

Sistema estrutural é definido como o conjunto de elementos estruturais arranjados entre si, sendo esses elementos as peças que compõem uma estrutura de determinada edificação como vigas, pilares, lajes etc. Para a análise e interpretação do comportamento de uma estrutura, é necessário o uso da técnica de discretização que consiste no desmembramento da estrutura em elementos com comportamentos já conhecidos e de fácil compreensão, para garantir resultados satisfatórios. (CARVALHO, 2009).

De acordo com Carvalho (2009) a discretização deve ser feita separando cada elemento estrutural e analisando as cargas que cada um recebe e que também transmite. Em uma estrutura de concreto armado simples a laje suporta o seu peso próprio, além de revestimentos e eventuais cargas acidentais (água da chuva, pessoas etc.), já as vigas vão receber os carregamentos gerados pela laje e vão transmitir, junto ao seu peso próprio, para os pilares, sendo que estes vão receber as cargas vindo das vigas e transmitirão, também com o seu peso próprio, para as fundações.

Usualmente a estrutura de uma edificação não é produzida de uma só vez, a concretagem é realizada por partes devido ao seu grande peso próprio. Porém existem dois tipos de estruturas a serem optadas como formas de execução, são elas as moldadas no local, já citada, e as pré-moldadas. A segunda elimina a necessidade de uso de escoramentos, pois os elementos são apenas moldados na estrutura, sendo normalmente encomendadas através de empresas especializadas. (CARVALHO, 2009).

### **3.2.4. Características do Aço**

Como já foi explicado no item 3.2.1 o aço é o componente do concreto que tem como função a resistência à tração deste, apresentando uma característica de fundamental importância na estrutura de edificações. Algumas outras características mecânicas importantes do aço de acordo com Carvalho (2009) são a resistência característica de escoamento, o limite de resistência e o alongamento na ruptura. A primeira diz respeito a máxima tensão que a barra deve suportar, pois a partir desta tensão, o aço começa a deformar permanentemente. O limite de resistência é a maior força com que o material consegue suportar e eventualmente romper. E, por fim, o alongamento na ruptura está relacionado ao aumento do corpo de prova que corresponde à ruptura.



### 3.2.5. Dimensionamento de uma Estrutura

As estruturas devem ser dimensionadas para garantir, de forma segura, estável e sem deformações excessivas, o suporte de todas as cargas que serão solicitadas durante sua execução e utilização. Um dos fatores mais importantes do dimensionamento de estruturas é o de impedir a sua ruína (falha) ou de algum elemento dela, sendo que essa ruína consiste no fato da edificação não estar em perfeito estado para utilização, devido a inúmeras deformações e fissuras de grande escala. Ou seja, o cálculo estrutural tem como finalidade garantir que a estrutura promova uma utilização satisfatória da edificação, de forma segura, durante a sua vida útil, independente de qual for o seu propósito. (CARVALHO, 2009).

Porém, de acordo com Carvalho (2009), existem algumas incertezas que geram insegurança no processo de concepção, execução e utilização de uma estrutura, são elas: a resistência dos materiais, influenciada por alguns fatores como tempo de duração da aplicação das cargas, fadiga e fabricação; as características geométricas da estrutura; as ações permanentes e variáveis; e os valores das solicitações calculados.

Existem dois métodos de cálculo das estruturas de concreto armado, são eles os métodos clássicos e os métodos de cálculo na ruptura (ou dos estados-limite). O primeiro, segundo Carvalho (2009), é o método no qual as solicitações correspondentes às cargas máximas de serviço são determinadas, em seguida são calculadas as tensões máximas, que serão limitadas a uma fração da resistência dos materiais (tensões admissíveis), deste modo garantindo a segurança da estrutura. Já nos métodos de cálculo na ruptura, de acordo com Carvalho (2009, p. 42):

“A segurança é garantida fazendo com que as solicitações correspondentes às cargas majoradas (solicitações de cálculo) sejam menores que as solicitações últimas, sendo estas as que levariam a estrutura à ruptura (ou a atingir um estado-limite último) se os materiais tivessem suas resistências reais (resistências características) minoradas por coeficientes de ponderação das resistências (resistências de cálculo).”

Um fator de grande relevância para o dimensionamento de uma estrutura é a determinação de todas as ações que podem gerar influência nela, com o intuito de garantir a sua segurança. As ações são classificadas em três tipos: permanentes, que são as que possuem valores praticamente constantes durante toda a vida da

construção e são divididas em diretas e indiretas; variáveis, que também são divididas em diretas (cargas acidentais previstas para o uso da construção) e indiretas (causadas por variações de temperatura e por ações dinâmicas); e excepcionais, cujos efeitos não podem ser controlados por outros meios. Alguns exemplos de ações permanentes são o peso próprio, a retração e os recalques, já das ações variáveis são a acidental vertical, o vento e a temperatura. (CARVALHO, 2009).

## **4. METODOLOGIA**

Nesse item serão apresentados métodos e técnicas utilizados para o desenvolvimento da parte experimental envolvendo a criação de corpos de prova e a realização dos ensaios necessários, além do desenvolvimento do projeto estrutural através de software específico.

### **4.1. Desenvolvimento Experimental em Laboratório**

Devido ao objetivo geral do trabalho verificou-se a necessidade da execução de estudo experimental com o intuito de estabelecer uma proximidade com a produção do concreto em obra, realizando o ensaio de compressão axial para verificar a sua viabilidade de uso.

Inicialmente foi estabelecida a utilização do resíduo de alvenaria em bloco cerâmico como material componente do concreto a ser produzido, pelo fato dele ser um material pozolânico (item 3.1.5) que pode ser utilizado como API no concreto tendo o mesmo efeito da areia, aumentando a densidade e preenchendo os vazios. Foi determinado que o resíduo substituisse o agregado miúdo (areia) com diferentes porcentagens, para garantir a sua inclusão na composição do concreto garantindo o traço especificado de 1:3 (relação 1 de cimento para 3 de agregados) para concreto com  $f_{ck}$  de 30MPa, obtido por Santos (2015). Foram produzidos trinta corpos de prova para dez traços diferentes, ou seja, três corpos de prova por traço, além do uso de aditivo superplastificante em alguns deles. A Tabela 1 apresenta os traços escolhidos e as respectivas porcentagens dos materiais utilizados, deve-se observar que o fator água/cimento foi o mesmo para todos os traços.

O superplastificante que foi utilizado na dosagem do concreto é da marca Glenium 51 e possui como vantagens para o concreto no estado fresco a redução da água, aumento da coesão e redução da segregação, aumento da trabalhabilidade e a redução do fator água/cimento. Para o concreto no estado endurecido, esse plastificante traz benefícios como o aumento da resistência à compressão e da durabilidade do concreto. Foi utilizado 1% sobre o peso do cimento na dosagem do concreto.

Tabela 1 - Dosagem do concreto com traços realizados em laboratório

Dosagem do Concreto - Traço 1:3						
Traço	Cimento	Areia	Brita	RCD	Superplastificante	Água/cimento
REF	100%	100%	100%	0%	-	0,34L/kg
RCD25	100%	75%	100%	25%	-	0,34L/kg
RCD50	100%	50%	100%	50%	-	0,34L/kg
RCD75	100%	25%	100%	75%	-	0,34L/kg
RCD100	100%	0%	100%	100%	-	0,34L/kg
RCD5	100%	95%	100%	5%	-	0,34L/kg
RCD10	100%	90%	100%	10%	-	0,34L/kg
RCD5-P	100%	95%	100%	5%	0,9g	0,34L/kg
RCD5-P*	100%	95%	100%	5%	0,9g*	0,34L/kg
RCD10-P*	100%	90%	100%	10%	0,9g*	0,34L/kg
* O superplastificante foi diluído em água						

Os resíduos de alvenaria em bloco cerâmico foram obtidos após demolição de uma parede construída na área externa do laboratório do Bloco 11 do UniCEUB. A Figura 2a apresenta o material obtido da demolição. Em seguida esse material foi encaminhado para a Fornecedora de Areia Bela Vista, localizada no Condomínio Colorado Ville - s/n It 50 A - Sobradinho, Brasília - DF, para ser triturado utilizando a máquina trituradora apresentada na Figura 2b. Após o material ser triturado utilizou-se a peneira #4 (Figura 3) para garantir o uso apenas da finura desejada (Figura 2c).

Figura 2a, 2b e 2c - Resíduo de alvenaria em bloco cerâmico após demolição (à esquerda); Máquina trituradora (ao centro); Resíduo de alvenaria em bloco cerâmico após ser triturado e passado na peneira #4 (à direita)

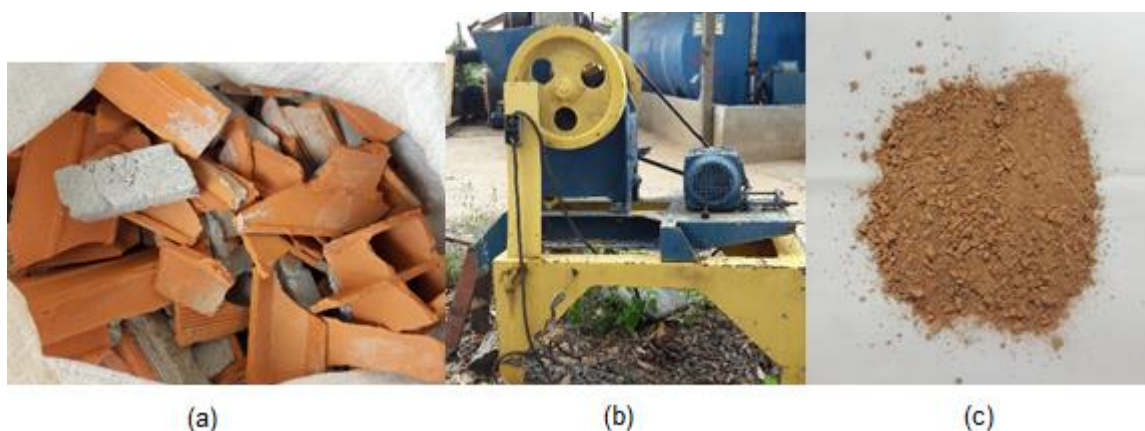


Figura 3 - Peneira #4 com abertura de 4,75mm utilizada para separar o material com a granulometria desejada



Os outros materiais utilizados para a dosagem do concreto foram cimento CP II Z32 RSR, areia média, brita 1 e água, os três primeiros estão apresentados nas Figuras 4a, 4b e 4c, respectivamente. Todos os materiais foram pesados a partir do traço e dos percentuais pré-estabelecidos apresentados na Tabela 1, utilizando a balança da marca Marte, modelo MA30K, devidamente calibrada, apresentada na Figura 5.

Figuras 4a, 4b e 4c - Cimento CP II Z32 RSR (à esquerda); Areia média (ao centro); Brita 1 (à direita)

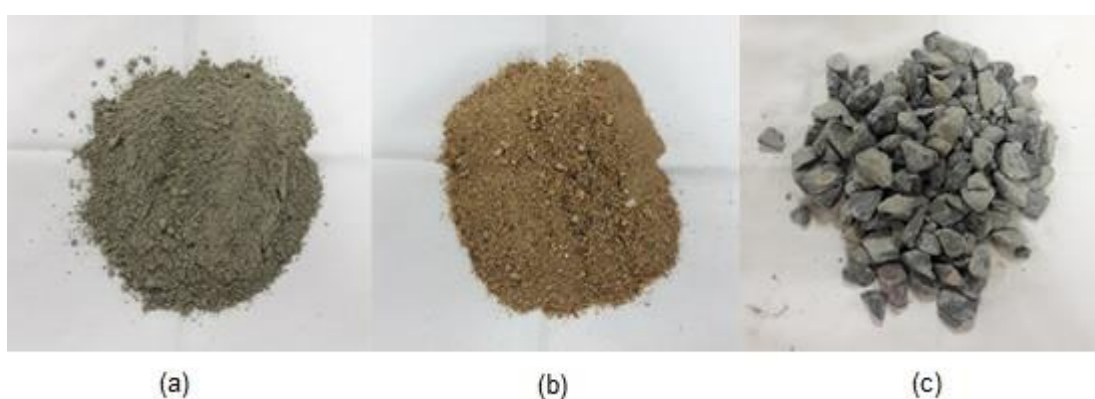


Figura 5 - Balança da marca Marte, modelo MA30K



Os procedimentos de moldagem e cura dos corpos de prova foram realizados seguindo a norma da ABNT, NBR 5738/2015. Para a moldagem foram utilizados moldes cilíndricos de 20 centímetros de altura e 10 centímetros de diâmetro, os quais foram previamente lubrificados e preenchidos com o concreto fresco em 2 camadas realizando o adensamento manual, efetuando 12 golpes por camada e por fim fazendo o rasamento da superfície com a borda do molde. O desmolde dos corpos de prova foi realizado 24 horas após a moldagem, foi feita a identificação de cada e em seguida os corpos de prova foram colocados submersos em água dentro de um recipiente e armazenados na câmara úmida do laboratório do UniCEUB para o procedimento de cura com duração de 28 dias.

Figura 6 - Corpos de prova (traços RCD5 e RCD10) moldados





Figura 7 - Corpos de prova (traços REF, RCD25, RCD50, RCD75 e RCD100)  
moldados



Figura 8 - Corpos de prova (traços RCD5 e RCD10) após desmolde, durante a cura de 28 dias



Figura 9 - Corpos de prova (traços RCD5-P, RCD5-P\* e RCD10-P\*) após desmolde, durante a cura de 28 dias



Figuras 10a e 10b - Corpos de prova (traço RCD5) após a cura de 28 dias (à esquerda); Corpos de prova (traço RCD10) após a cura de 28 dias (à direita)



(a)



(b)



Figuras 10a, 10b, 10c, 10d e 10e - Corpos de prova após cura de 28 dias, (a) Traço REF; (b) Traço RCD25; (c) Traço RCD50; (d) Traço RCD75; (e) Traço RCD100



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 11 - Corpos de prova após a cura de 28 dias, Traço RCD5-P\* à esquerda, Traço RCD10-P\* ao centro e Traço RCD5-P à direita



Por fim foi realizado o ensaio de compressão axial utilizando a prensa hidráulica da marca EMIC, modelo PCE100C, com o intuito de obter a resistência dos corpos de prova para aplicar no projeto estrutural que será apresentado em seguida. Os ensaios foram realizados seguindo a norma da ABNT, NBR 5739/2007.

Figura 12 - Prensa hidráulica da marca EMIC, modelo PCE100C



A prensa hidráulica apresenta o resultado da força necessária para romper o corpo de prova, portanto foi necessário aplicar a seguinte equação para calcular a resistência do concreto:

$$R_c = \frac{P}{A_s}$$

Onde  $R_c$  é a resistência à compressão do concreto,  $P$  é a força atuante da prensa hidráulica e  $A_s$  é a área de superfície do corpo de prova.

Figura 13 - Exemplo de um corpo de prova sendo rompido (Traço RCD5)



## 4.2. Desenvolvimento do Projeto Estrutural

Com o intuito da verificação da qualidade dos resultados apresentados pelos ensaios de compressão axial nos corpos de prova, foi realizado o projeto estrutural de uma edificação criada para este trabalho através do software SAP2000. A planta arquitetônica foi desenvolvida no programa AutoCAD 2017 (Figuras 14 e 15), tomando como referência o Anexo I da Lei nº 2105 de 8 de outubro de 1998 do Código de Edificações do Distrito Federal que apresenta os parâmetros mínimos para unidades domiciliares.

Figura 14 - Planta baixa do primeiro pavimento da edificação

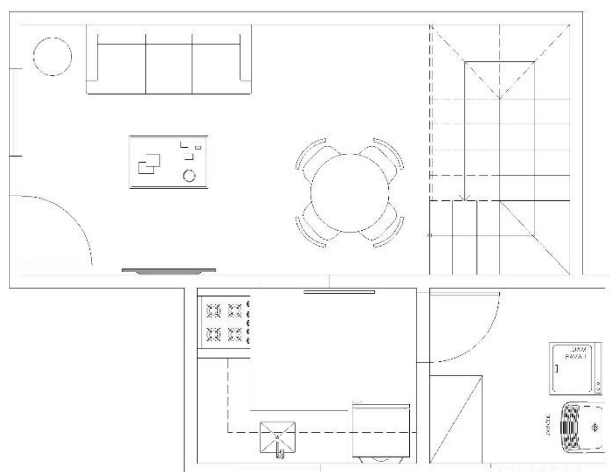


Figura 15 - Planta baixa do segundo pavimento da edificação

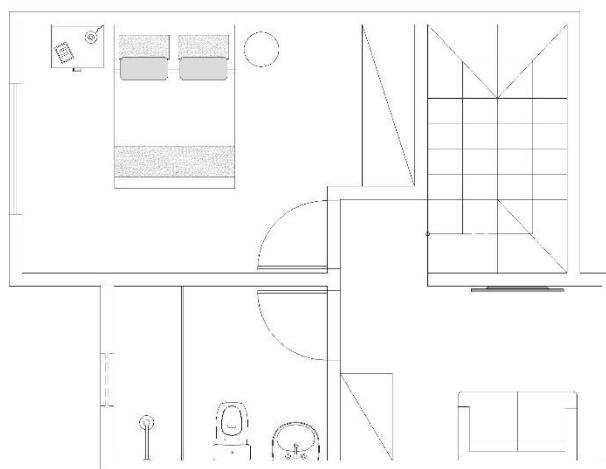




Tabela 2 - Anexo I da Lei nº 2105 de 8 de outubro de 1998 do Código de Edificações do Distrito Federal

PARÂMETROS MÍNIMOS COMPARTIMENTOS OU AMBIENTES	ÁREA m <sup>2</sup>	DIMENSÃO m	AERAÇÃO/ ILUMINAÇÃO	PÉ-DIREITO m	VÃO DE ACESSO m	REVEST. PAREDE	REVEST. PISO	OBSERVAÇÕES
SALA DE ESTAR	12,00	2,85	1/8	2,50	0,80	—	—	
DORMITÓRIOS E COMPARTIMENTOS COM MÚLTIPLAS DENOMINAÇÕES OU REVERSÍVEIS	1º) 10,00 2º) 9,00 demais 8,00	2,40	1/8	2,50	1º) 0,80 demais 0,70	—	—	
DORMITÓRIO EMPREGADO	8,00 (Alterado - LEI Nº 3.419, DE 04 DE AGOSTO DE 2004)	2,40 (Alterado - LEI Nº 3.419, DE 04 DE AGOSTO DE 2004)	1/8	2,50	0,70	—	—	
COZINHA	5,00	1,80	1/8	2,50	0,80	lavável	lavável	
ÁREA DE SERVIÇO	4,00	1,50	1/10	2,50	0,80	lavável	lavável	- quando conjugada com a cozinha não pode aerar e iluminar quarto e banheiro de empregado. sem quarto de empregado acrescer 25% em sua área.
BANHEIRO (1º)	—	Ø 1,10(*)	1/10(*)	2,25	0,80	lavável	lavável	- revestimento das paredes do box - lavável e impermeável altura mínima = 1,50m.
BANHEIRO EMPREGADO	1,60	1,00(*)	1/10(*)	2,25	0,60	lavável	lavável	
LAVABO	1,20	0,80	duto 200mm(*)	2,25	0,60	—	—	
DEPÓSITO OU SÓTÃO	—	—	—	—	—	—	—	- de acordo com a finalidade a que se destina.
CIRCULAÇÃO	—	0,80	—	2,25	—	—	—	- acima de 8m dimensão mínima igual a 10% do comprimento.
ESCADA CURVILÍNEA OU RETILÍNEA	—	1º) 0,80	—	2,25	—	—	—	- curvilínea de uso restrito - no mínimo 0,60m de raio.
ABRIGOS, VARANDAS, GARAGENS	—	—	—	2,25	—	—	—	

Notas : 1) áreas expressas em metro quadrado;

2) dimensões expressas em metros;

3) aeração e iluminação referem-se à relação área da abertura e do piso;

4) pé-direito mínimo será respeitado na área mínima exigida;

5) diâmetro do banheiro é inscrito e livre de quaisquer obstáculos;

6) (\*) dispensada iluminação natural

7) metade do vão exigido para aeração e iluminação será para aerar;

8) parâmetros não definidos na tabela estão liberados.

Fonte: Código de Edificações do Distrito Federal, Lei nº 2105 de 8 de outubro de 1998

A estrutura da edificação será em concreto armado, abaixo serão citados os materiais utilizados, junto aos seus parâmetros e dimensões.

#### Concreto Estrutural:

- Segundo o item 8.2.1 (NBR 6118, 2014) deve-se adotar concreto com classe C20, ou superior, quando aplicados com armadura passiva. Para esse projeto serão utilizados concretos com  $f_{ck}$  de 36,19MPa, 29,71MPa, 32,76MPa e 36,28MPa (valores médios referentes às resistências dos traços REF, RCD5, RCD5-P e RCD10-P\*, respectivamente) que foram resultados obtidos pelos ensaios citados no item 4.1 e que serão apresentados por completo no item 5.1 deste trabalho.
- Conforme o item 6.4.2 (NBR 6118, 2014) define-se a classe de agressividade ambiental dessa edificação como Classe II - Moderada, pelo fato se encontrar no meio urbano.

- O módulo de elasticidade foi calculado a partir da equação apresentada no item 8.2.8 (NBR 6118, 2014):

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} - \text{Módulo de elasticidade tangencial em MPa, sendo } \alpha_E = 1.$$

Para os  $f_{ck}$  definidos anteriormente, os módulos de elasticidade são 33,7GPa, 30,5GPa, 32,1GPa e 33,7GPa, respectivamente.

- O coeficiente de Poisson, segundo o item 8.2.9 (NBR 6118, 2014), deve ser tomado como igual a 0,2.
- A massa específica do concreto armado é de 25kN/m<sup>3</sup>, de acordo com o item 8.2.2 (NBR 6118, 2014).

Aço estrutural:

- Será utilizado aço em armaduras passivas, pelo fato da estrutura ser em concreto armado. A classe definida foi a CA50, que equivale a  $f_{yk} = 500\text{MPa}$ .
- Os cobrimentos, segundo a tabela 7.2 do item 7.4.7.6 (NBR 6118, 2014), para estruturas de concreto armado Classe de agressividade ambiental II, é de 2,5cm para lajes e 3,0cm para vigas e pilares.

Será adotado um sistema estrutural simples com laje lisa, vigas e pilares, os quais terão suas dimensões expressas abaixo de acordo com o item 13.2 (NBR 6118, 2014):

- Segundo o item 13.2.4.1 (NBR 6118, 2014) a laje maciça pode ter limite de espessura de 10cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30kN, portanto foi determinado que para esse projeto a laje apresentará espessura de 10cm.
- Conforme o item 13.2.2 (NBR 6118, 2014) a seção transversal das vigas não pode apresentar espessura menor que 12cm, visto isso definiu-se que a dimensão para as vigas do projeto serão de 15cm de largura e 30cm de altura.
- Para os pilares, o item 13.2.3 (NBR 6118, 2014) diz que sua seção transversal não pode ser menor que 19cm, porém podem ser utilizadas dimensões menores se multiplicadas por um coeficiente adicional  $\gamma_n$  indicado na tabela 13.1 (NBR 6118, 2014). Foi determinado que a seção transversal dos pilares será de 15cm x 15cm, com isso o fator  $\gamma_n$  a ser multiplicado será de 1,2.

Após a definição dos materiais e suas respectivas propriedades é necessário apresentar as cargas atuantes na estrutura através do cálculo do peso próprio de cada componente que irá exercer força nela. A seguir serão apresentados os cálculos do peso próprio dos elementos estruturais que consistem nas lajes, vigas e pilares, além dos cálculos do peso próprio do contrapiso (espessura de 3cm) e revestimento do teto (espessura de 2cm), os dois em argamassa de cimento e areia, piso de granito (espessura de 2cm) e alvenaria composta por tijolo em bloco cerâmico (espessura de 9cm) e argamassa de cimento e areia (chapisco + emboço + reboco e com espessura total de 6cm). Os pesos específicos foram obtidos segundo a Tabela 1 do item 2.1.3 (NBR 6120, 1980).

- Laje 10cm:  $Q_{pp} = 0,1m \times 25kN/m^3 = 2,5kN/m^2$ ;
- Vigas 15cm x 30cm:  $q_{pp} = 0,15m \times 0,30m \times 25kN/m^3 = 1,125kN/m$ ;
- Pilares 15cm x 15cm:  $q_{pp} = 1,2 \times 0,15m \times 0,15m \times 25kN/m^3 = 0,675kN/m$ ;
- Contrapiso em argamassa de cimento e areia, cujo peso específico é de  $21kN/m^3$ , foi definido com espessura de 3cm:

$$q_{cp} = 0,03m \times 21kN/m^3 = 0,63kN/m^2;$$

- Revestimento do teto em argamassa de cimento e areia, cujo peso específico é de  $21kN/m^3$ , foi definido com espessura de 2cm:

$$q_{rev} = 0,02m \times 21kN/m^3 = 0,42kN/m^2;$$

- Piso em granito, cujo peso específico é de  $28kN/m^3$ , foi definido com espessura de 2cm:

$$q_{piso} = 0,02m \times 28kN/m^3 = 0,56kN/m^2;$$

- Alvenaria composta por bloco cerâmico (peso específico de  $13kN/m^3$ ) com espessura de 9cm, e argamassa de cimento e areia (peso específico de  $21kN/m^3$ ), incluindo chapisco, emboço e reboco, com espessura de 6cm:

$$q_{alv} = (0,09m \times 13kN/m^3 + 0,06m \times 21kN/m^3) \times (2,55m - 0,10m) = 5,95kN/m;$$

- Carga accidental foi definida como  $2kN/m^2$  a partir da tabela 2 do item 2.2.1.2 (NBR 6120, 1980) por ser uma edificação residencial.

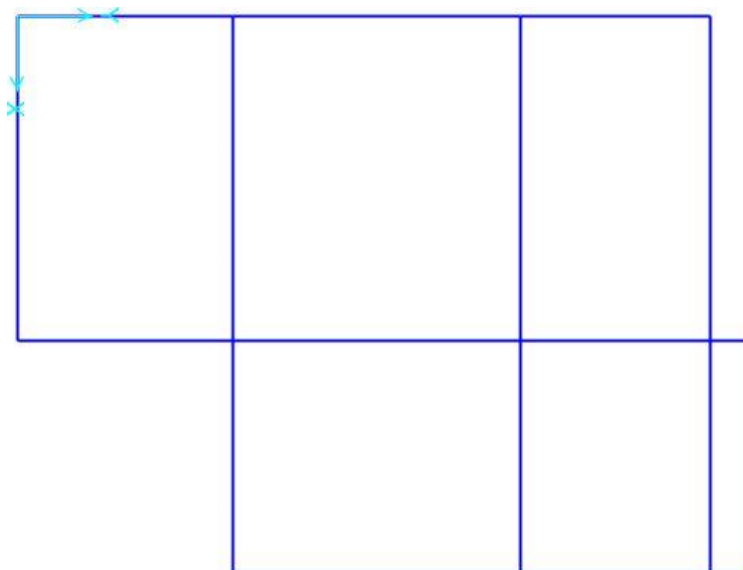
Para a análise do projeto estrutural pelo programa SAP2000, foi necessário calcular a carga da alvenaria pela área da laje, 29,52m<sup>2</sup>, além do perímetro de alvenaria que será utilizado, 34,25m. Com esses dados multiplicou-se o resultado de  $q_{alv}$  obtido pelo perímetro de alvenaria e dividiu-se pela área da laje.

$$q_{alv} = (34,25m \times 5,95kN/m) / 29,52m^2 = 6,91kN/m^2$$

#### 4.2.1. Dados de Entrada no Programa SAP2000

O projeto estrutural no programa SAP2000 inicia com a definição do sistema de grade, portanto foi criado um com as dimensões estabelecidas no projeto arquitetônico e em seguida foram criados os pilares e vigas, e no final, as lajes. As Figuras 16 e 17 apresentam a vista de um pavimento e a vista tridimensional de toda a estrutura, respectivamente.

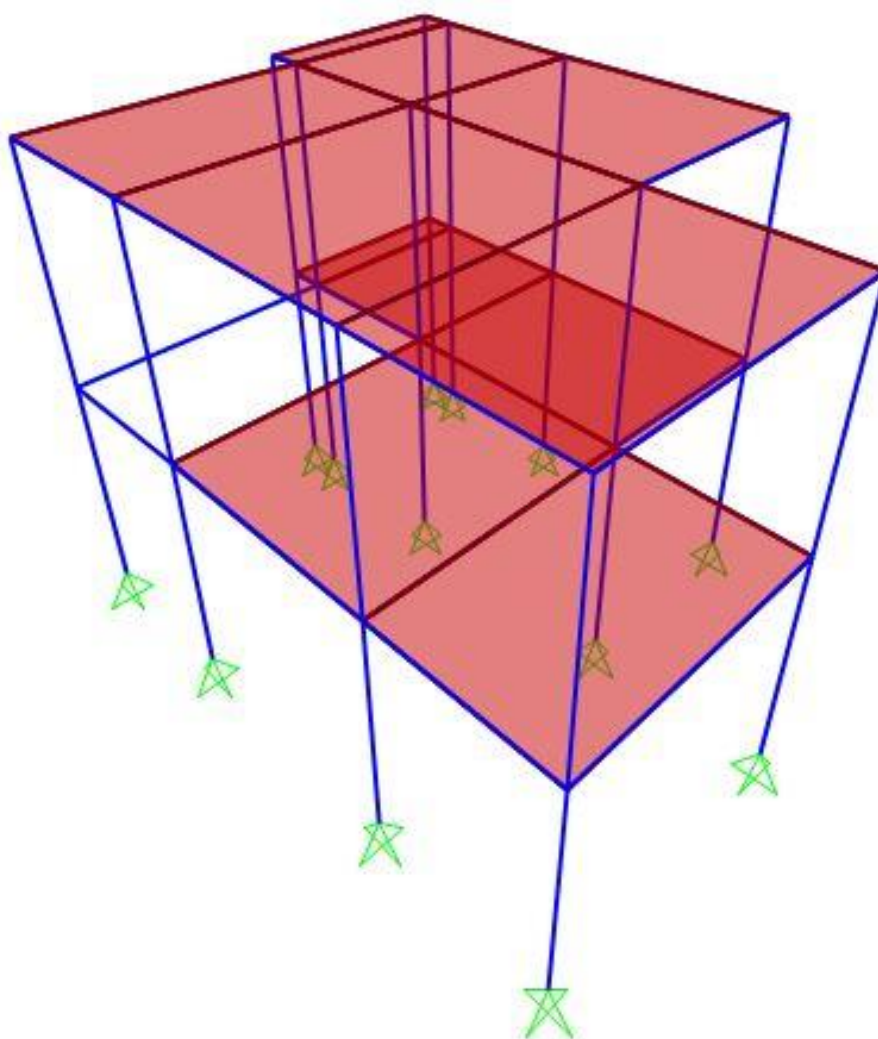
Figura 16 - Vista superior de um dos pavimentos apresentando as vigas definidas



Fonte: SAP2000



Figura 17 - Vista tridimensional de toda a estrutural, incluindo lajes, vigas, pilares e apoios via SAP2000

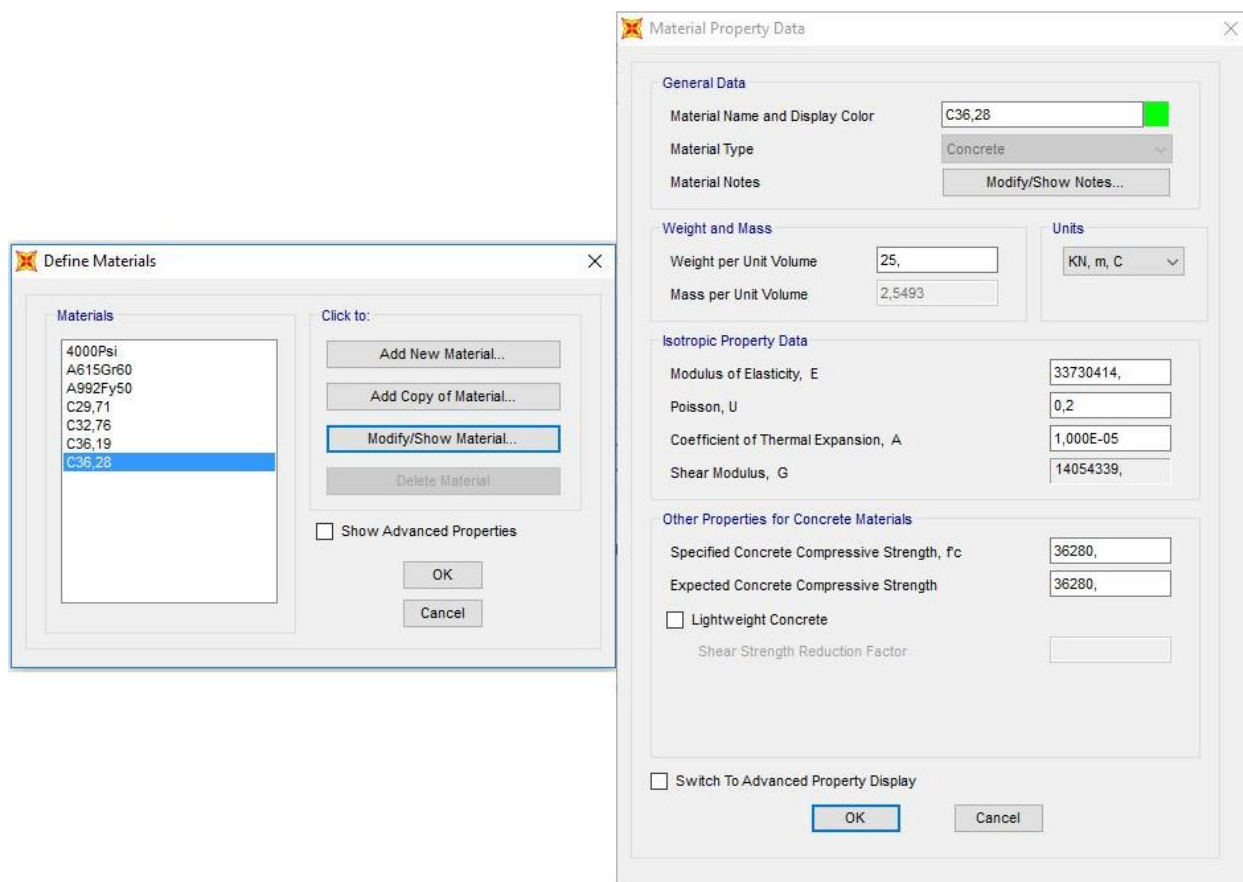


Fonte: SAP2000

Foi realizada a caracterização dos concretos estruturais que serão utilizados (C29,71; C32,76; C36,19; C36,28), definindo as propriedades desses materiais. Esse procedimento está apresentado na Figura 18 tomando como exemplo o concreto C36,28.

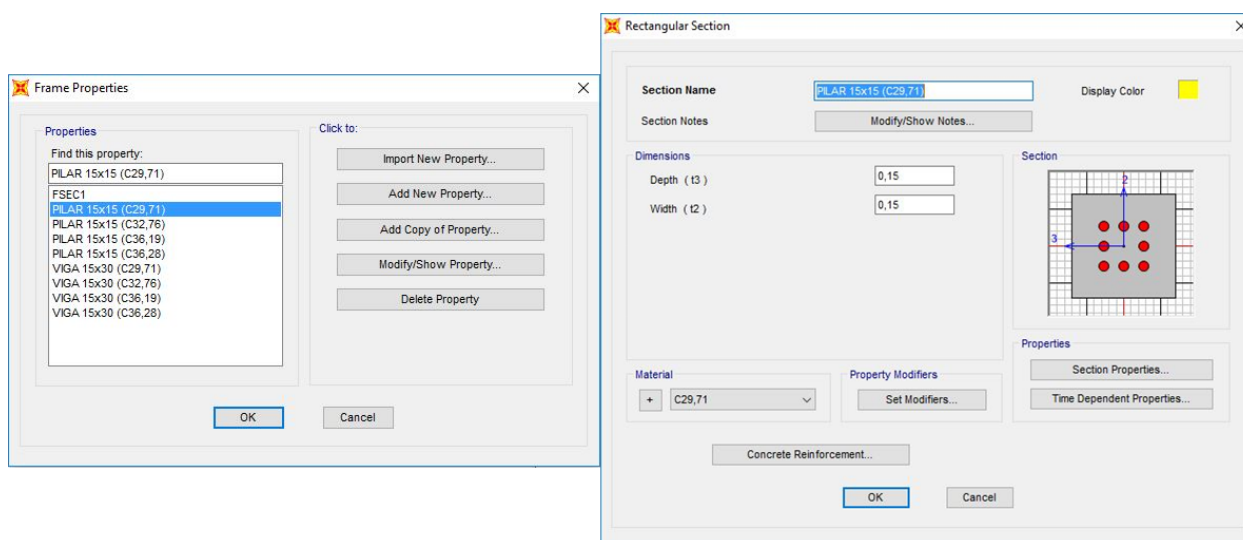
As figuras 19 a 21 apresentam a descrição de cada elemento estrutural, indicando suas propriedades e dimensões.

Figura 18 - Caracterização do concreto estrutural de 36,28MPa via SAP2000



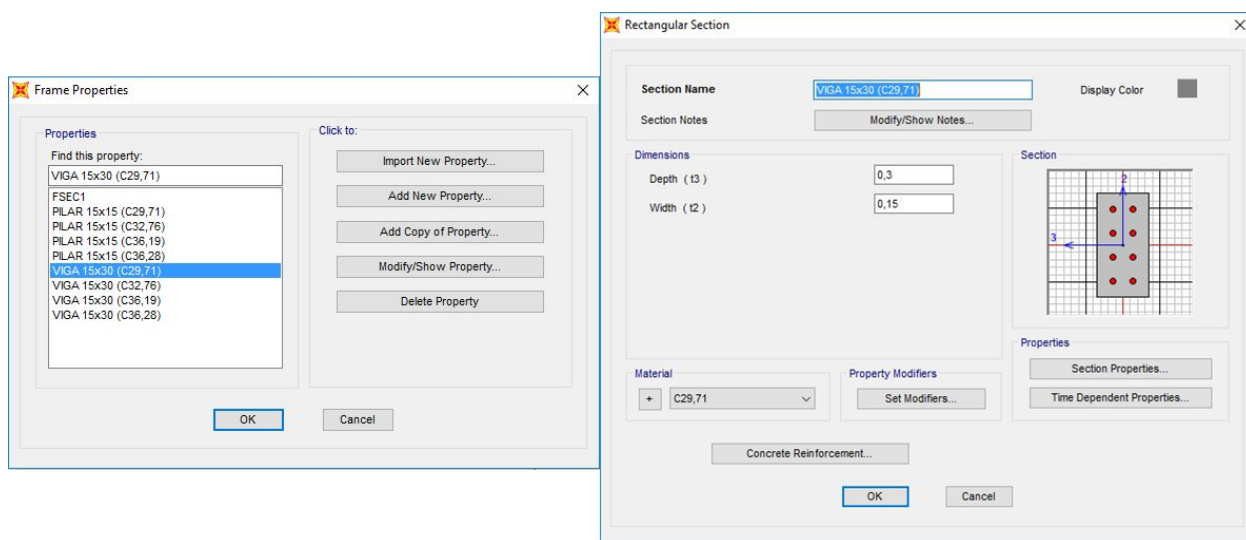
Fonte: SAP2000

Figura 19 - Descrição dos pilares de 15cm x 15cm via SAP2000



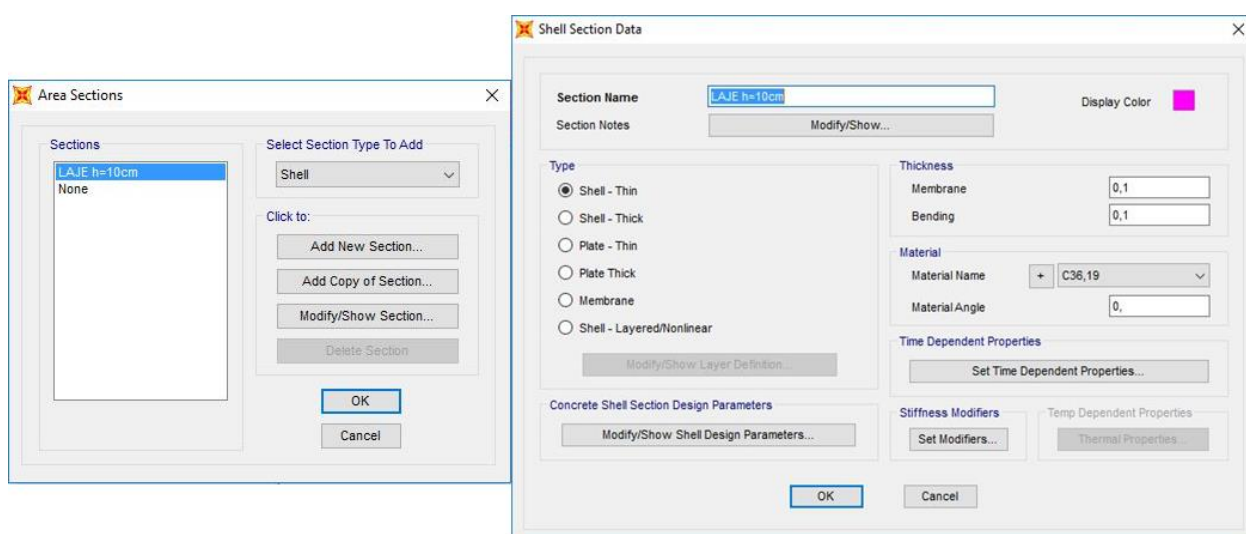
Fonte: SAP2000

Figura 20 - Descrição das vigas de 15cm x 30cm via SAP2000



Fonte: SAP2000

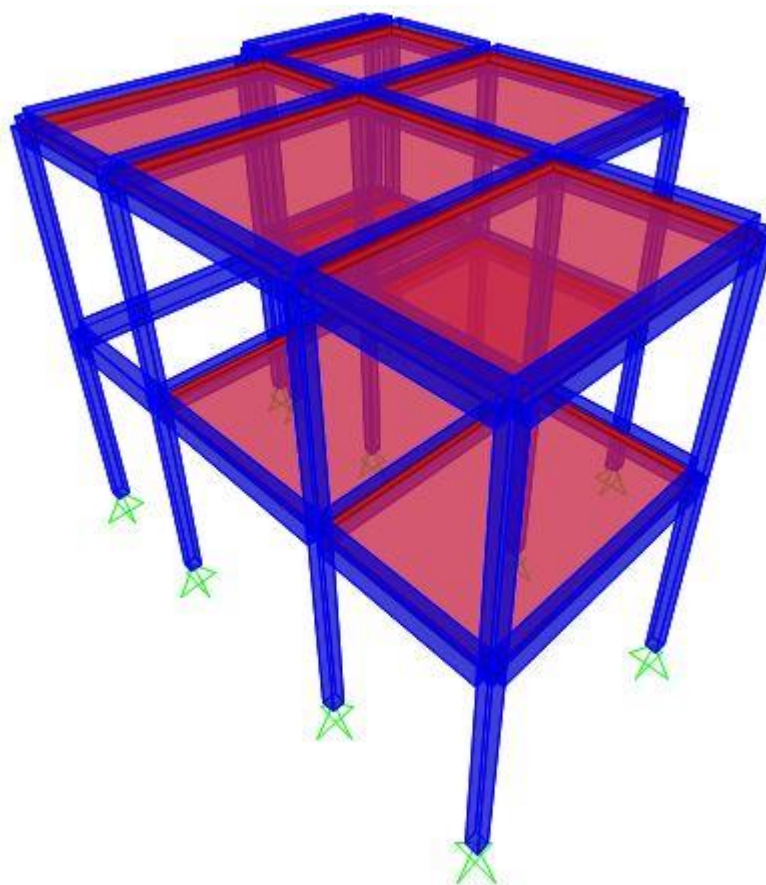
Figura 21 - Descrição da laje h=10cm via SAP2000



Fonte: SAP2000

A figura 22 mostra a estrutura da edificação após a definição das dimensões de cada elemento estrutural.

Figura 22 - Vista tridimensional da estrutura após a definição das dimensões de seus elementos via SAP2000

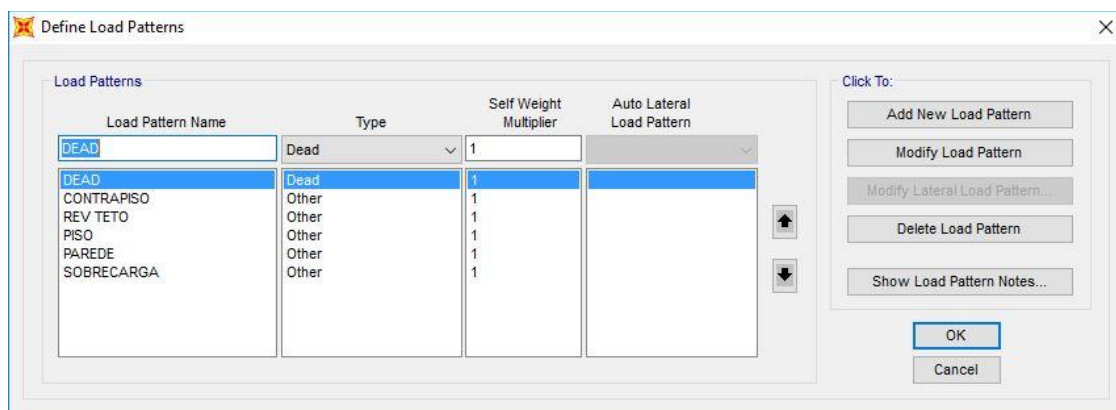


Fonte: SAP2000

Depois de realizada a definição dos materiais e das dimensões dos elementos estruturais, foram inseridas no programa as cargas calculadas no item 4.2. O SAP2000 calcula automaticamente o peso próprio da estrutura, sendo este carregamento denominado “dead”. Por esse motivo as cargas incluídas foram as do contrapiso, revestimento do teto, piso e alvenaria, além da carga acidental (sobrecarga). As figuras 23 e 24 apresentam os carregamentos e os casos de cargas, respectivamente.

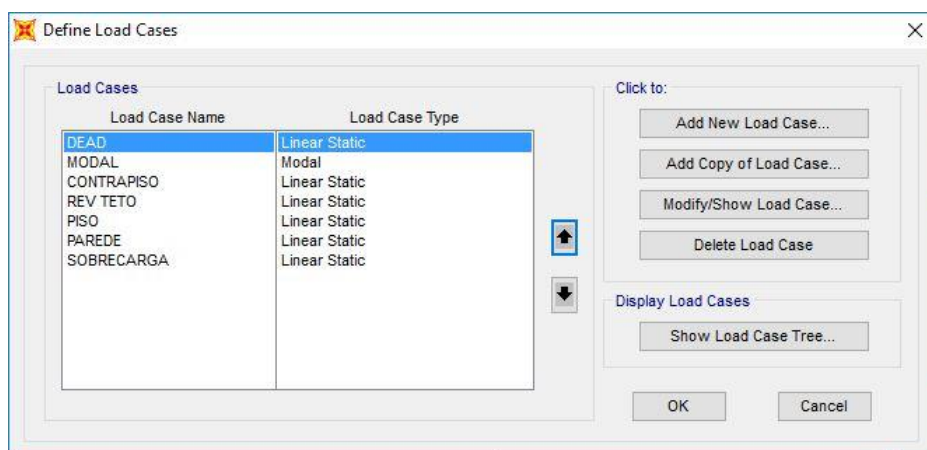
Para fazer a análise do projeto estrutural foi adotada a combinação de ações pelo Estado Limite Último (ELU) que segundo o item 11.7.1 (NBR 6118, 2014) será de  $1,4g + 1,4q$ , por serem ações normais, onde  $g$  corresponde a carga permanente e  $q$  a carga variável. A descrição dessa combinação de ações realizada no programa SAP2000 está apresentada na figura 25.

Figura 23 - Carregamentos aplicados na estrutura via SAP2000



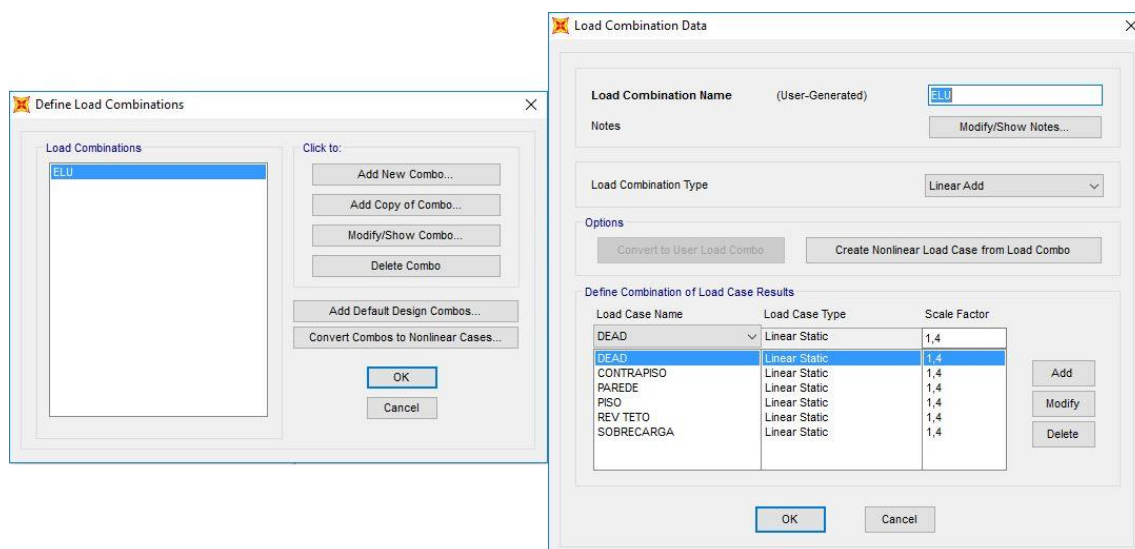
Fonte: SAP2000

Figura 24 - Casos de cargas via SAP2000



Fonte: SAP2000

Figura 25 - Combinação no Estado Limite Último (ELU) via SAP2000



Fonte: SAP2000

## 5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados em laboratório e do projeto estrutural desenvolvido através do programa SAP2000. E será realizada uma análise desses resultados esclarecendo os sucessos e empecilhos.

### 5.1. Resultados e Análises - Ensaio do Concreto em Laboratório

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial dos corpos de prova produzidos em laboratório estão apresentados no Gráfico 1 (Resistência à compressão x Dosagem do concreto) e na Tabela 3 que indica os valores da força realizada pela prensa hidráulica para romper o concreto e a resistência deste calculada através da equação expressa no item 4.1. A numeração dos traços apresentada na Tabela 3 remete às diferentes dosagens do concreto que foram exibidas na Tabela 1, item 4.1.

Gráfico 1 - Resultados das resistências dos corpos de prova

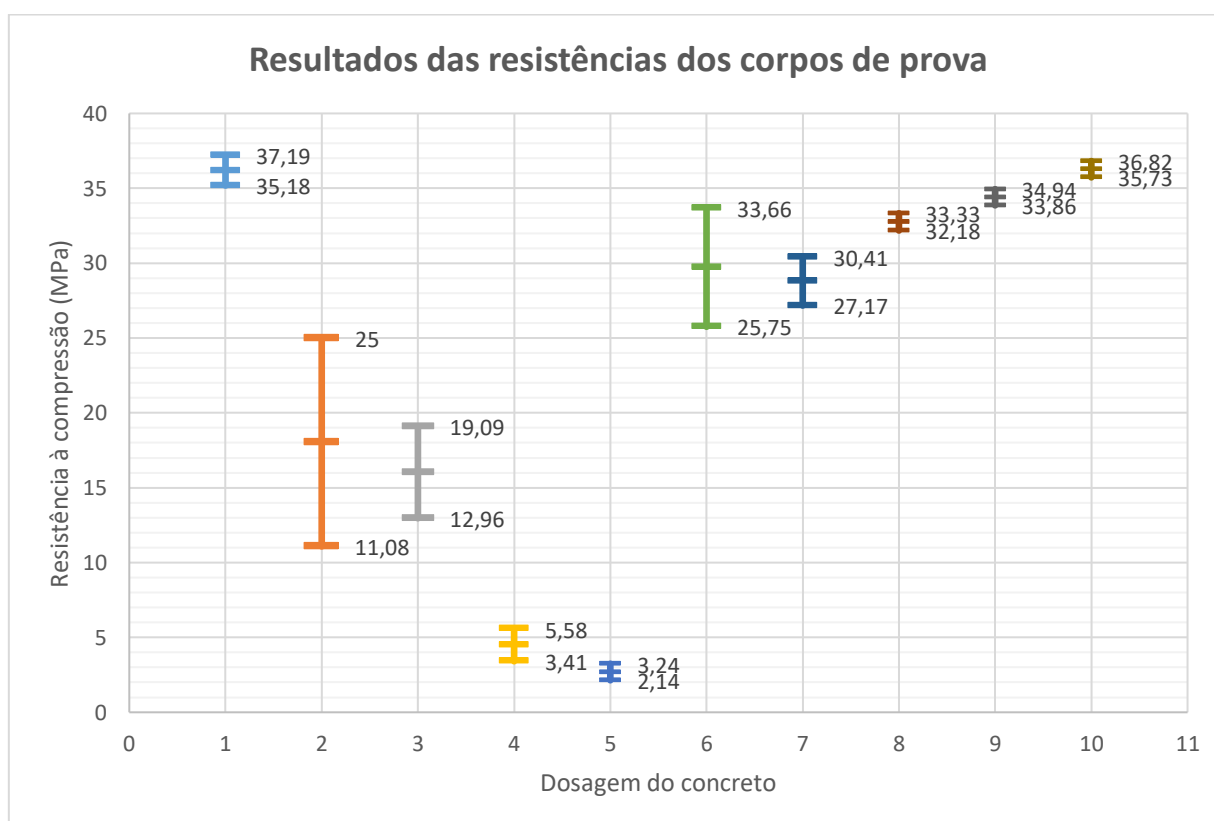




Tabela 3 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

	Traços	Carga da prensa hidráulica			Resistência do concreto				
		CP1 (kN)	CP2 (kN)	CP3 (kN)	CP1 (Mpa)	CP2 (Mpa)	CP3 (Mpa)	Média	Desvio Padrão
1	REF	290,17	292,07	276,33	36,95	37,19	35,18	36,19	1,10
2	RCD25	196,32	93,05	87,01	25,00	11,85	11,08	18,04	7,82
3	RCD50	101,79	149,97	111,49	12,96	19,09	14,20	16,03	3,24
4	RCD75	26,76	41,02	43,84	3,41	5,22	5,58	4,50	1,16
5	RCD100	25,45	24,34	16,84	3,24	3,10	2,14	2,69	0,60
6	RCD5	264,33	252,42	202,27	33,66	32,14	25,75	29,71	4,20
7	RCD10	213,36	238,83	226,46	27,17	30,41	28,83	28,79	1,62
8	RCD5-P	261,79	252,77	260,42	33,33	32,18	33,16	32,76	0,62
9	RCD5-P*	274,38	265,95	273,70	34,94	33,86	34,85	34,40	0,60
10	RCD10-P*	280,60	289,17	284,16	35,73	36,82	36,18	36,28	0,55

Analisando o Gráfico 1 e a Tabela 3 verifica-se que foram obtidos alguns resultados satisfatórios e outros não satisfatórios. O traço REF é a dosagem convencional do concreto, sem uso do RCD, portanto já era previsto que resultariam em resistências por volta de 30MPa. Já os traços RCD5 a RCD10-P\* apresentaram bons resultados, além de serem concretos com resistência acima de 20MPa, o que os torna viáveis ao uso estrutural para algumas edificações, de acordo com a NBR 6118:2014. Porém ao analisar os resultados dos traços RCD25 a RCD100 verificou-se que suas resistências foram diminuindo consideravelmente a medida que o percentual de substituição do agregado miúdo pelo resíduo de bloco cerâmico foi aumentado.

Na etapa de produção dos corpos de prova observou-se que a medida que aumentava o percentual de RCD utilizado, a mistura ficava cada vez mais seca e sua trabalhabilidade era afetada, isso se deu pelo fato do material cerâmico utilizado ter como propriedade um alto índice de absorção de água. A reduzida relação água/cimento também foi outro fator que afetou a trabalhabilidade do concreto fresco com altas quantidades de bloco cerâmico, o que ocasionou na dificuldade da moldagem dos corpos de prova, tornando-os assim muito porosos. Além disso, outro fato a ser notado é a diferença de cores dos corpos de prova dependendo da quantidade de tijolo moído utilizado, quanto maiores os percentuais de substituição do agregado miúdo, os corpos de prova tendem a ficar com a cor mais voltada para o marrom, o que pode ser notado pelas Figuras 10a, 10b, 10c, 10d e 10e.

Após a conclusão dos ensaios de resistência à compressão axial e análise do Gráfico 1, pode-se notar uma discrepância muito grande nos resultados obtidos para o traço RCD25, seus valores extremos foram de 25MPa e 11,08MPa. Essa diferença foi obtida devido à má execução da moldagem dos corpos de prova. Não é possível saber ao certo qual foi o exato motivo, porém pode ter sido no momento da compactação do corpo de prova no molde.

Inicialmente foram estabelecidas as dosagens com altos percentuais de bloco cerâmico, porém devido aos resultados não satisfatórios resolveu-se efetuar dosagens com percentuais mais baixos (5% e 10%), além de verificar a possibilidade de melhora na resistência dos corpos de prova com uso de superplastificante. As misturas com percentuais mais baixos de RCD já apresentaram melhora no momento da moldagem, pois houve evolução na trabalhabilidade o que ocasionou a facilidade de compactação e consequentemente, a diminuição da porosidade. Em relação ao superplastificante, ele foi utilizado nos traços com percentuais baixos, sendo que no traço RCD5-P foi colocado direto na mistura, enquanto nos traços RCD5-P\* e RCD10-P\* foi dissolvido em água e depois colocado na mistura. O segundo caso obteve melhores resultados. O uso do superplastificante como apresentado no item 3.1.7 melhorou consideravelmente a trabalhabilidade da mistura, motivo esse que facilitou a moldagem e acarretou em melhores resultados de resistência.

Por fim deve-se observar que os resultados do traço RCD10-P\* (concreto com 10% de resíduo de bloco cerâmico e superplastificante) foram maiores que os do traço RCD5-P\* (concreto com 5% de resíduo de bloco cerâmico e superplastificante), o que não era previsto. Como no caso do traço RCD25, não é possível saber ao certo o motivo exato desse acontecimento, porém acredita-se que o ocorrido foi devido à qualidade da moldagem ou à quantidade de superplastificante utilizado na mistura, pois uma variação pequena desse aditivo pode gerar diferenças no resultado final.



## 5.2. Resultados e Análises - Projeto Estrutural

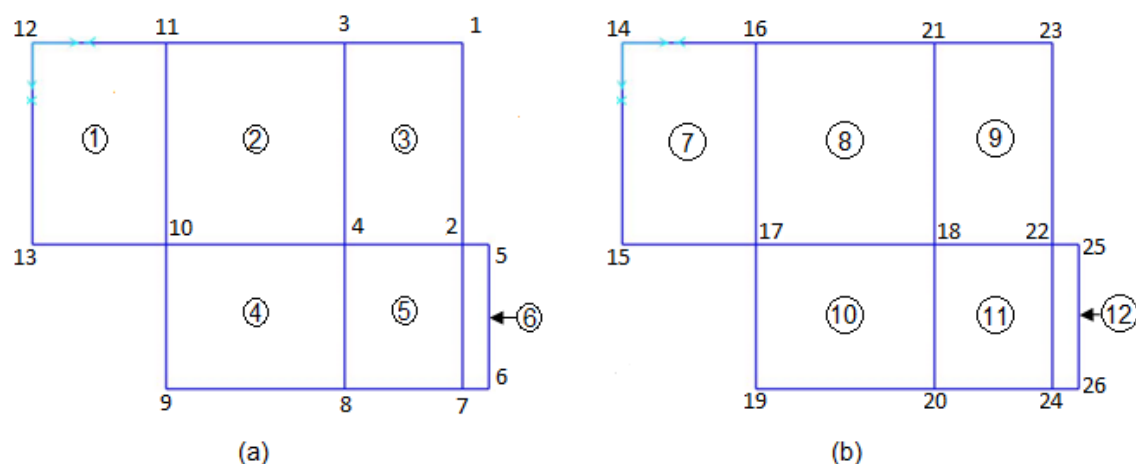
A análise estrutural foi realizada basicamente através da verificação dos deslocamentos que a estrutura sofreu através das deformações geradas pela combinação de cargas no Estado Limite Último, com a finalidade de verificar a possibilidade de uso dos concretos obtidos experimentalmente. Para isso, a Tabela 4 abaixo apresenta os deslocamentos limites calculados, tomando como referência o item 13.3 (NBR 6118, 2014), a partir das dimensões das lajes.

Tabela 4 - Deslocamentos limites nas lajes para a carga total e para a carga acidental aplicadas (Lx é a menor dimensão da laje e Ly é a maior dimensão da laje)

Laje	Dimensão da Laje		Flecha limite (mm)	
	Lx (m)	Ly (m)	Carga Total	Carga Acidental
1 e 7	2,00	3,00	5,33	5,71
2 e 8	2,65	3,00	7,07	7,57
3 e 9	1,75	3,00	4,67	5,00
4 e 10	2,15	2,65	5,73	6,14
5 e 11	1,75	2,15	4,67	5,00
6 e 12	0,40	2,15	1,07	1,14

As Figuras 26a e 26b representam os pavimentos da edificação identificando as juntas das vigas e a numeração de cada laje que está apresentada na Tabela 4 acima.

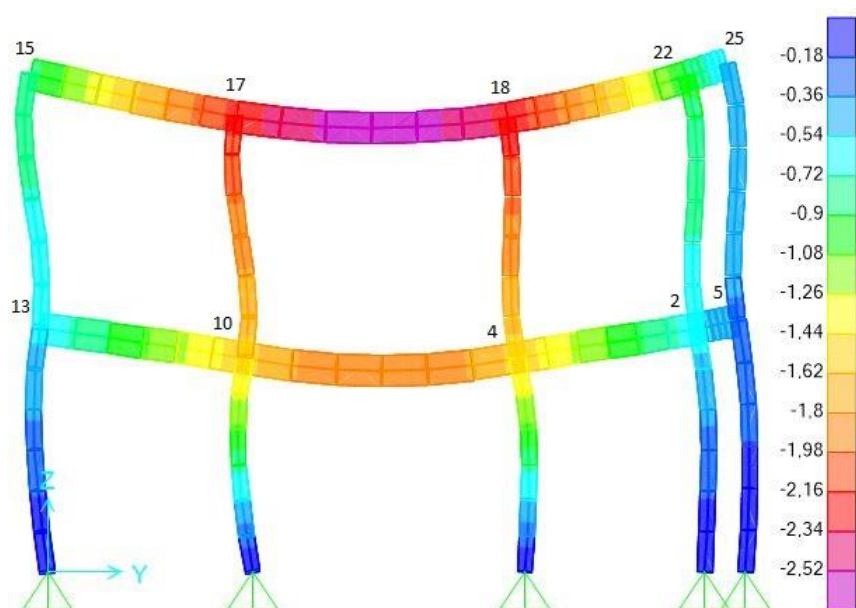
Figuras 26a e 26b - Vista no eixo xy dos pavimentos da edificação apresentando a numeração dos nós e das lajes da estrutura. Primeiro pavimento à esquerda e segundo pavimento à direita



Fonte: SAP2000

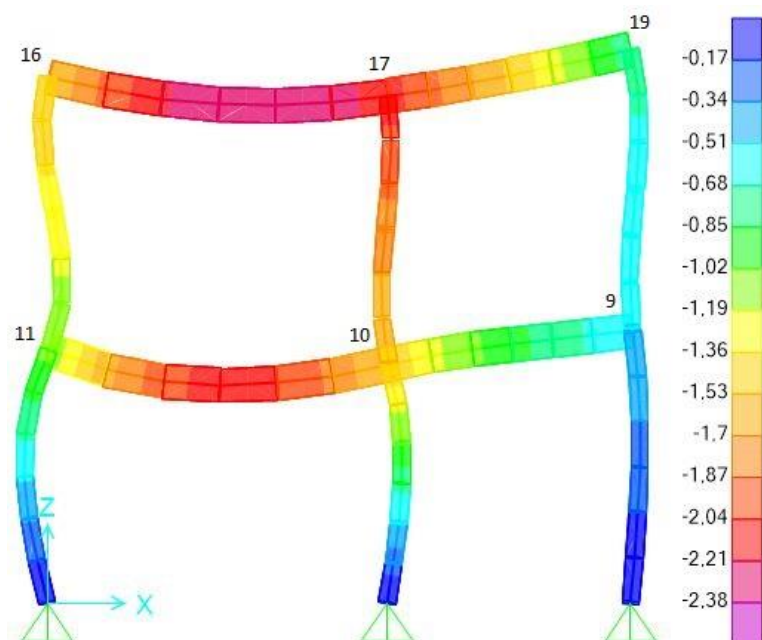
O programa SAP2000 apresenta diversas formas de análise de estruturas, como para o presente trabalho só será considerada a verificação do deslocamento limite da estrutura foram geradas apenas as curvas de deformações para cada concreto utilizado (C29,71; C32,76; C36,19; C36,28). Os resultados serão apresentados pelas figuras 27 a 30 e pelas tabelas 5 a 8.

Figura 27 - Vista do eixo yz (com “extrude”) da deformação da estrutura com concreto C29,71 via SAP2000 (magnificação de 300x)



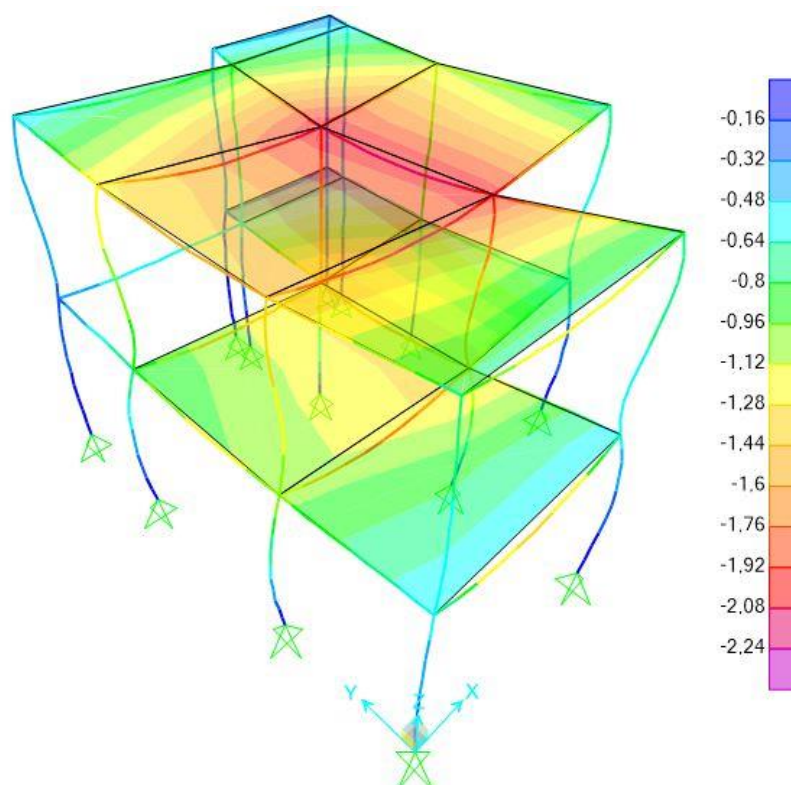
Fonte: SAP2000

Figura 28 - Vista do eixo xz (com “extrude”) da deformação da estrutura com concreto C32,76 via SAP2000 (magnificação de 300x)



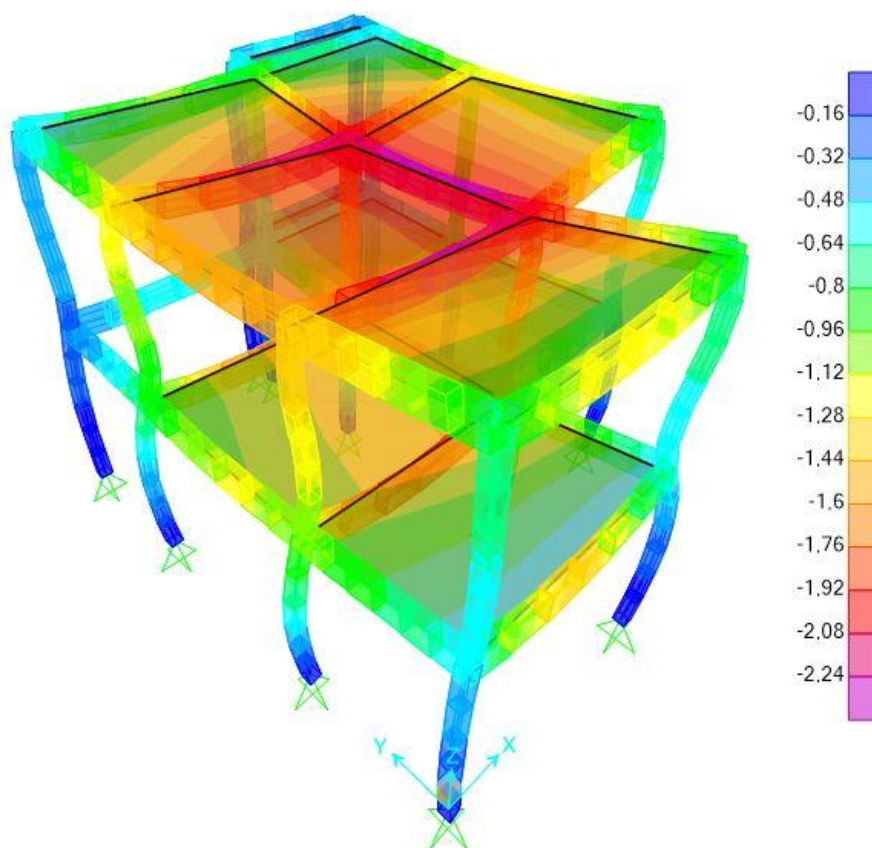
Fonte: SAP2000

Figura 29 - Vista tridimensional da deformação da estrutura com concreto C36,19 via SAP2000 (magnificação de 300x)



Fonte: SAP2000

Figura 30 - Vista tridimensional (com “extrude”) da deformação da estrutura com concreto C36,28 via SAP2000 (magnificação de 300x)



Fonte: SAP2000

Tabela 5 - Deslocamentos das juntas da estrutura com concreto C29,71 via SAP2000

Deslocamentos da estrutura com C29,71									
Junta	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)	Junta	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
1	ELU	0,088	-0,225	-0,323	14	ELU	-0,046	-0,491	-0,818
2	ELU	0,091	-0,241	-0,602	15	ELU	-0,048	-0,584	-0,839
3	ELU	0,079	-0,226	-0,901	16	ELU	0,016	-0,492	-1,606
4	ELU	0,080	-0,243	-1,554	17	ELU	0,015	-0,585	-2,218
5	ELU	0,094	-0,241	-0,346	18	ELU	0,097	-0,586	-2,275
6	ELU	0,095	-0,256	-0,238	19	ELU	0,014	-0,652	-0,772
7	ELU	0,092	-0,256	-0,390	20	ELU	0,097	-0,653	-1,213
8	ELU	0,080	-0,256	-0,848	21	ELU	0,098	-0,492	-1,367
9	ELU	0,065	-0,257	-0,531	22	ELU	0,152	-0,587	-0,930
10	ELU	0,064	-0,244	-1,566	23	ELU	0,153	-0,492	-0,537
11	ELU	0,064	-0,227	-1,122	24	ELU	0,151	-0,654	-0,560
12	ELU	0,052	-0,227	-0,570	25	ELU	0,164	-0,587	-0,513
13	ELU	0,053	-0,245	-0,581	26	ELU	0,164	-0,654	-0,338

Tabela 6 - Deslocamentos das juntas da estrutura com concreto C32,76 via  
SAP2000

Deslocamentos da estrutura com C32,76									
Junta	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)	Junta	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
1	ELU	0,084	-0,215	-0,307	14	ELU	-0,044	-0,468	-0,779
2	ELU	0,087	-0,230	-0,573	15	ELU	-0,046	-0,557	-0,799
3	ELU	0,075	-0,215	-0,858	16	ELU	0,015	-0,468	-1,529
4	ELU	0,076	-0,231	-1,480	17	ELU	0,014	-0,557	-2,112
5	ELU	0,090	-0,230	-0,329	18	ELU	0,093	-0,558	-2,166
6	ELU	0,090	-0,244	-0,226	19	ELU	0,013	-0,621	-0,735
7	ELU	0,087	-0,244	-0,372	20	ELU	0,093	-0,622	-1,156
8	ELU	0,076	-0,244	-0,807	21	ELU	0,093	-0,469	-1,302
9	ELU	0,062	-0,244	-0,506	22	ELU	0,145	-0,559	-0,885
10	ELU	0,061	-0,232	-1,492	23	ELU	0,146	-0,469	-0,512
11	ELU	0,061	-0,216	-1,068	24	ELU	0,144	-0,623	-0,533
12	ELU	0,049	-0,216	-0,542	25	ELU	0,157	-0,559	-0,488
13	ELU	0,050	-0,233	-0,554	26	ELU	0,156	-0,623	-0,322

Tabela 7 - Deslocamentos das juntas da estrutura com concreto C36,19 via  
SAP2000

Deslocamentos da estrutura com C36,19									
Junta	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)	Junta	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
1	ELU	0,080	-0,204	-0,293	14	ELU	-0,042	-0,445	-0,741
2	ELU	0,083	-0,219	-0,545	15	ELU	-0,043	-0,530	-0,760
3	ELU	0,071	-0,205	-0,816	16	ELU	0,014	-0,445	-1,455
4	ELU	0,072	-0,220	-1,408	17	ELU	0,013	-0,530	-2,010
5	ELU	0,085	-0,218	-0,313	18	ELU	0,088	-0,531	-2,061
6	ELU	0,086	-0,232	-0,215	19	ELU	0,013	-0,591	-0,700
7	ELU	0,083	-0,232	-0,354	20	ELU	0,088	-0,592	-1,099
8	ELU	0,073	-0,232	-0,768	21	ELU	0,089	-0,446	-1,238
9	ELU	0,059	-0,232	-0,481	22	ELU	0,138	-0,532	-0,842
10	ELU	0,058	-0,221	-1,419	23	ELU	0,139	-0,446	-0,487
11	ELU	0,058	-0,205	-1,017	24	ELU	0,137	-0,593	-0,507
12	ELU	0,047	-0,206	-0,516	25	ELU	0,149	-0,532	-0,465
13	ELU	0,048	-0,222	-0,527	26	ELU	0,148	-0,593	-0,306

Tabela 8 - Deslocamentos das juntas da estrutura com concreto C36,28 via  
SAP2000

Deslocamentos da estrutura com C36,28									
Junta	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)	Junta	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
1	ELU	0,080	-0,204	-0,292	14	ELU	-0,042	-0,445	-0,740
2	ELU	0,083	-0,218	-0,545	15	ELU	-0,043	-0,529	-0,759
3	ELU	0,071	-0,205	-0,815	16	ELU	0,014	-0,445	-1,453
4	ELU	0,072	-0,220	-1,406	17	ELU	0,013	-0,530	-2,007
5	ELU	0,085	-0,218	-0,313	18	ELU	0,088	-0,531	-2,058
6	ELU	0,086	-0,231	-0,215	19	ELU	0,013	-0,590	-0,699
7	ELU	0,083	-0,231	-0,353	20	ELU	0,088	-0,591	-1,098
8	ELU	0,073	-0,231	-0,767	21	ELU	0,089	-0,446	-1,237
9	ELU	0,059	-0,232	-0,480	22	ELU	0,138	-0,531	-0,841
10	ELU	0,058	-0,221	-1,417	23	ELU	0,139	-0,446	-0,486
11	ELU	0,058	-0,205	-1,015	24	ELU	0,137	-0,592	-0,507
12	ELU	0,047	-0,205	-0,515	25	ELU	0,149	-0,532	-0,464
13	ELU	0,048	-0,221	-0,526	26	ELU	0,148	-0,592	-0,306

Como os valores das resistências dos concretos são muito próximos, os resultados das deformações também se aproximaram, com diferenças mínimas. Por consequência disso não foram dispostas todas as imagens da análise de deformações dos concretos utilizados obtidos pelo programa SAP2000, sendo apresentadas apenas uma imagem para cada (Figuras 27 a 30).

O programa SAP2000 não gera o valor específico da flecha máxima da estrutura, apenas os deslocamentos das juntas. É possível visualizá-la somente através das imagens geradas pelo programa quando submetido a análise de deformações da estrutura. As figuras 27 e 28 apresentam os pontos mais críticos de deformação da estrutura com concreto C29,71 e C32,76, respectivamente, através das vistas no eixo yz e xz, também respectivamente, fazendo o uso do comando “extrude” pertencente ao software. Já as figuras 29 e 30 mostram as estruturas com concreto C36,19 e C36,28, respectivamente, após a deformação através da vista tridimensional, sendo a Figura 29 sem o uso do comando “extrude” e a Figura 30 fazendo o uso desse comando.

As tabelas 5 a 8 apresentadas foram obtidas através do programa SAP2000 e nelas se encontram os resultados dos deslocamentos das juntas nos eixos x, y e z após a deformação gerada. U1, U2 e U3 se referem aos eixos x, y e z,

respectivamente. O mais importante para este trabalho é o deslocamento no eixo z. Observa-se que quanto maior a resistência do concreto, menor será o deslocamento da estrutura. A junta mais crítica dessa edificação é a número 18, apresentando um deslocamento de 2,058mm no eixo z, quando a estrutura possui o concreto com resistência de 36,28MPa, e de 2,275mm também no eixo z, quando a estrutura possui o concreto com resistência de 29,71MPa. Esse fato se dá por motivo da junta 18 possui os maiores vãos da estrutura.

Os valores obtidos pelos projetos estruturais realizados, representados nas tabelas 5 a 8, se encontram consideravelmente abaixo dos deslocamentos limite apresentados na Tabela 4. Isso implica que os concretos fabricados possuem viabilidade estrutural, em relação a resistência, e podem ser implantados em obras desse porte. A tabela 9 apresenta os resultados dos deslocamentos da junta mais crítica, 18, para todos os concretos utilizados, sendo esses os resultados mais expressivos obtidos.

Tabela 9 - Deslocamentos da junta mais crítica da estrutura

Deslocamentos da junta mais crítica					
Junta	Concreto	Combinação de cargas	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
18	C29,71	ELU	0,097	-0,586	-2,275
18	C32,76	ELU	0,093	-0,558	-2,166
18	C36,19	ELU	0,088	-0,531	-2,061
18	C36,28	ELU	0,088	-0,531	-2,058

## 6. CONCLUSÃO

A substituição do agregado miúdo por resíduo de alvenaria em bloco cerâmico triturado para a dosagem do concreto mostra-se vantajosa em certos aspectos, como o da sustentabilidade, porém desvantajosa em outros, como a redução considerável da qualidade do concreto em algumas ocasiões, como a trabalhabilidade da mistura e consequentemente a porosidade do corpo de prova. Devido ao pensamento voltado mais para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente, atualmente o setor da construção civil busca novas soluções para garantir esses objetivos. A dosagem do concreto com a utilização de resíduos de construção e demolição mostra-se como uma dessas soluções. O presente trabalho esclareceu que, apesar de ser em pouca quantidade, o resíduo de alvenaria em bloco cerâmico pode ser utilizado na dosagem do concreto garantindo a qualidade, em relação a sua resistência, para uso estrutural na construção civil.

Apesar de não ter sido realizado um orçamento para a edificação desenvolvida com os concretos produzidos, acredita-se que essa solução possa garantir uma economia devido ao uso de RCD. Outras vantagens do uso desse tipo de resíduo na dosagem do concreto se encontra na sustentabilidade exercida devido à reutilização de um recurso que seria descartado da construção civil, reduzindo assim o consumo de recursos naturais, como nesse caso a areia que pode ser substituída em 10%. Por fim verificou-se através do desenvolvimento e resultados das resistências e da análise estrutural obtidas deste trabalho que o concreto proposto é capaz de ser utilizado em estruturas de concreto armado, desde que a substituição do agregado miúdo na dosagem do concreto seja em pequena quantidade, ou fazendo o uso de superplastificante, podendo elevar a resistência do material em relação ao concreto convencional em 0,25% (RCD10-P\*). No entanto devem ser realizados estudos mais aprofundados em relação a durabilidade, porosidade e permeabilidade destes concretos com o intuito de verificar a capacidade real de uso estrutural.

O trabalho obteve excelentes resultados experimentais, os quais mostram a eficiência do uso de resíduo de alvenaria em bloco cerâmico na dosagem do concreto, no entanto verificou-se que esse tipo de material reduz a resistência à compressão do concreto em até 93% (RCD100) à medida que o seu percentual de uso é aumentado, sendo essa uma desvantagem desse estudo.



Ao longo do desenvolvimento do trabalho foi notada a importância dessa pesquisa e a relevância que a reutilização de resíduos de demolição e construção trazem para a área da construção civil. Entretanto para que esse estudo possa ser desenvolvido na prática, deve-se planejar e executar uma forma de gestão de resíduos, tanto dos RCDs quanto dos RCCs, com o intuito de regulamentar o que pode ser reutilizado e o que deve ser descartado, podendo assim garantir mais sustentabilidade na construção civil, preservação do meio ambiente e redução do consumo de recursos naturais.

## **7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

- Analisar experimentalmente a substituição do agregado graúdo ou do cimento por resíduo de alvenaria em bloco cerâmico na dosagem do concreto;
- Verificar o custo de produção de concreto com resíduo de alvenaria em bloco cerâmico em sua composição;
- Analisar a possibilidade de uso de outros aditivos para aumentar a resistência do concreto com RCD;
- Comparar os diferentes tipos de resíduos que podem ser utilizados na dosagem do concreto e suas resistências;
- Efetuar um planejamento de gestão de resíduos sólidos;
- Analisar a permeabilidade e porosidade de concretos com resíduo de alvenaria em bloco cerâmico através de ensaios de durabilidade.

## 8. BIBLIOGRAFIA

AMBROZEWICZ, P. H. L. *Materiais de construção: Normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório*. São Paulo: Pini, 2012.

AMORIM, A. K. F.; LIMA, F. G. P. S.; SANTOS, L. R.; SIMÕES, M. P. R. A.; ALMEIDA, P. B. A.; LIMA, S. F. *Preservação ambiental a partir da utilização dos resíduos de uma obra para a fabricação do concreto reciclado*. Ciências exatas e tecnológicas, Maceió, v. 3, n. 3, p. 163-172, Novembro 2016.

ANDRADE, V. D.; TEIXEIRA, R. L. P.; OLIVEIRA, C. A. S. *Resíduos da construção civil para a produção de concretos estruturais*. Construindo, v. 8, n. 2, jul/dez 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738/2015: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739/2007: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118/2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6120/1980: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12653/1992: Materiais pozolânicos*. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15114/2004: Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, 2004.

AUTODESK. *AutoCAD2017*. 2017.

BAUER, L. A. F. *Materiais de Construção 1*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CANAES, D. A. *Análise comparativa de uma estrutura de edifício em laje lisa pelos programas SAP2000 e Eberick*. 2013. Projeto (Graduação)-Curso de engenharia civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2013.

- CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; MOLIN, D. C. C. D.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. *Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha*. Cerâmica, São Paulo, vol.55 no.336, p. 448-460, out./dez. 2009.
- CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A.; COSTA, D. B. et al. *Characterization of C&D wast and processed debris aiming the production of construction materials*. In: CIB SYMPSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIROMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil, Proceedings... [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000.
- CARNEIRO, V. L.; MOURA, W. A.; LEITE, M. B. *Influência do uso de resíduo de cerâmica vermelha e finos de RCD como substituição parcial de cimento, para produção de argamassas*. In: Encontro nacional sobre aproveitamento de resíduos na construção, Feira de Santana, 2009. Anais... Feira de Santana: UEFS, 2009.
- CARVALHO, R. C. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2013*. 3. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2009.
- CAVALCANTI, D. J. H. *Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais*. 2006. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 2006.
- COMPUTERS AND STRUTURES, INC. *SAP2000 19, Structural Analysis Program*. 2016.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA n.307, de 05 de julho de 2002: Gestão de resíduos da construção civil*. 2002.
- DESIR, J. M. et al. *Avaliação da contribuição da atividade pozolânica do resíduo de tijolo moído na resistência de argamassas*. In: Inter american conference on non-conventional materials and technologies in ecological and sustainable construction, Rio de Janeiro, 2005. Proceedings... Rio de Janeiro: Universidade Estadual Norte Fluminense, 2005.
- HEIKAL, M.; ZOHDY, K. M.; ABDELKREEM, M. *Mechanical, microstructure and rheological characteristics of high performance self-compacting cement pastes and concrete containing ground clay bricks*. Construction and building materials, v. 38, p. 101-109, jan. 2013.

JACKSON, P. J. Portland cement: classification and manufacture. In: HEWLETT, P. *Lea's chemistry of cement and concrete*. New York: Elsevier Science & Technology Books, 2004. p. 24-94.

LEITE, M. B. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. 2001. Tese (Doutorado)-Programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. *Tecnologia do concreto*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, D. M.; BASTOS, P. R. C.; JUNIOR M. C. de S.; PEREIRA, D. R.; COELHO, G. T. F. *Utilização de resíduos de construção e demolição: Estudo de caso em São José de Ribamar/MA*. Revista Brasileira de Iniciação Científica, Itapetininga, v. 3, n. 3, 2016.

PEREIRA-DE-OLIVEIRA, L. A.; CASTRO-GOMES, J. P.; SANTOS, M. S. S. *The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components*. Construction and building materials, v. 31, p. 197-203, 2012.

PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. Tese (Doutorado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

RANGEL, C. S. *Influência de agregados graúdos reciclados nas propriedades estruturais de concretos de resistência normal e de alto desempenho*. 2015. Dissertação (Mestrado)-Programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2015.

SALES, A. T. C.; ALFERES FILHO, R. dos S. *Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto*. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 113-125, jan./mar. 2014.

SANTOS. *Análise da fluência em concreto refratário*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2015.

SILVA, J. K. F.; VIEIRA, R. B. *Processamento de resíduos de cerâmica vermelha para produção de agregado miúdo para aplicação em concretos*. Revista CENAR 2015, vol. 1, n. 1, 2015.

SILVA, J. K. F.; VIEIRA, R. B. *Resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de cerâmica vermelha quando submetidos ao ataque por sulfatos de magnésio*. Revista CENAR 2016, vol. 2, n. 2, 2016.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. *Concreto auto-adensável*. São Paulo: PINI, 2008.